

А.В. Аргучинцева

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

Для описания распределения атмосферных аэрозолей рассматриваются стохастические модели, основанные на решении краевой задачи со случайными коэффициентами, поведение которых описывается многомерной функцией плотности вероятности, устанавливаемой на основе минимальной невязки с эмпирическими законами распределения многолетних режимных наблюдений. Приводятся диагностические и прогностические (изменение конфигурации затопляемых и зарекультивированных площадей и пр.) варианты расчетов пыления золоотвалов конкретных ТЭЦ.

В сложившейся практике методы математического моделирования процессов загрязнения атмосферы (численные, аналитические, а также стандартные методики) используются, как правило, для определения абсолютных концентраций ингредиентов при реализации единичного набора каких-то мгновенных метеорологических величин. Наряду с этим несомненный интерес вызывает представление об экологической обстановке экономического региона в целом с учетом особенностей его климатических характеристик, которые ведут себя статистически устойчиво. Численное решение [1–4] такой задачи требует очень больших ресурсов вычислительной техники. Разновидности стандартных методик [5, 6] в принципе не могут решить поставленной проблемы. Наиболее оптимально в этом случае использовать стохастические модели, основанные на решении краевой задачи со случайными коэффициентами, поведение которых описывается многомерной функцией плотности вероятности, устанавливаемой на основе минимальной невязки с эмпирическими законами распределения.

Решение задачи упрощается, если использовать аналитические решения дифференциальных уравнений, описывающих перенос и турбулентную диффузию примесей. Несмотря на то что все аналитические решения получены при определенной стилизации атмосферных процессов, возможности их значительно расширяются, если взаимно однозначно связать распределение примесей с вероятностными интегральными и дифференциальными функциями распределения метеорологических параметров.

Рассмотрим подробнее. Пусть для концентраций легкой примеси в атмосфере установлен некоторый предел (например, ПДК – предельная допустимая концентрация: средняя суточная, максимальная разовая, рабочей зоны и пр.). Анализируя методами дифференциального исчисления аналитические решения, полученные при решении дифференциальных уравнений, описывающих перенос и турбулентную диффузию легкой пассивной примеси (например, [7, 8] и др.) от приподнятых источников, можно убедиться, что концентрация (q) тем меньше, чем больше абсолютная величина вектора скорости ветра (V). Это значит, что, начиная с некоторого его модуля (назовем его критическим – $V_{кр}$), вблизи любого источника выброса концентрация приземной примеси будет меньше ПДК. Рассматривая концентрацию примесей от произвольной системы источников как суперпозицию полей концентраций от каждого источника и используя аналитические решения [7, 8] и других уравнений диффузии примесей, найдем критическую скорость ветра, которая для рассматриваемой точки является функцией полярных координат (ρ , φ) и параметров источников (F), вносящих свой вклад в загрязнение в этой точке

$$V = f(\rho, \varphi, F).$$

Интегрируя двумерную функцию плотности вероятности вектора скорости ветра в каждой точке рассматриваемой области по направлению ($0 < \varphi < 360$) и модулю скорости ($0 < V < V_{кр}$), найдем функцию распределения превышения ПДК. Иначе говоря, в результате решения такой задачи для легких пассивных примесей отсекается вероятностное пространство, в каждой точке которого интегральная функция распределения за рассматриваемый интервал времени не

превосходит указанный критерий, а модель работает с пространством, вероятностной мерой которого является функция обеспеченности, построенная на борелевском множестве.

В качестве теоретической функции плотности вероятности может выступать, например, нормальный закон, приближение Лапласа–Шарлье, закон Вейбулла и др., выбор одного из которых зависит от степени близости к эмпирическому закону распределения, найденному по многолетним климатическим наблюдениям на метеорологических постах данной местности. Таким образом, мы, выделяя зоны, в которых за интересующий интервал времени будут нарушаться установленные нормы загрязнения, получаем новую характеристику – частоту превышения ПДК. Одновременно в каждой точке расчетной области имеем усредненную по всем реализациям концентрацию примеси. Необходимо отметить, что в аналитических решениях ось абсцисс совпадает с направлением среднего ветра, поэтому расчет загрязнения в каждой точке проводится во вращающейся полярной системе координат.

В качестве иллюстрации приведем расчет частоты превышения максимальной разовой ПДК $= 0,5 \text{ мг/м}^3$ двуокиси серы для многолетнего декабря в Иркутске (рис. 1). Закон распределения вектора скорости ветра – обобщенный нормальный; аналитическое решение взято из монографии М.Е. Берлянда [7]; горизонтальный коэффициент турбулентной диффузии выбирался согласно масштабу Монина–Обухова, вертикальный коэффициент аппроксимировался степенным законом, показатель которого для каждого многолетнего сезона найден методом наименьших квадратов по данным наблюдений на высотных площадках телевышки. Для удобства частота нормирована на количество часов в месяце: изолиния 1 соответствует 72 ч, что отвечает вероятности превышения ПДК, равной 0,1; изолиния 2 – 144 ч (с вероятностью 0,2) и т.д. Начало координат – центр города. Выделенные области экологического риска являются хорошей информацией, помогающей городским властям в принятии рациональных решений.

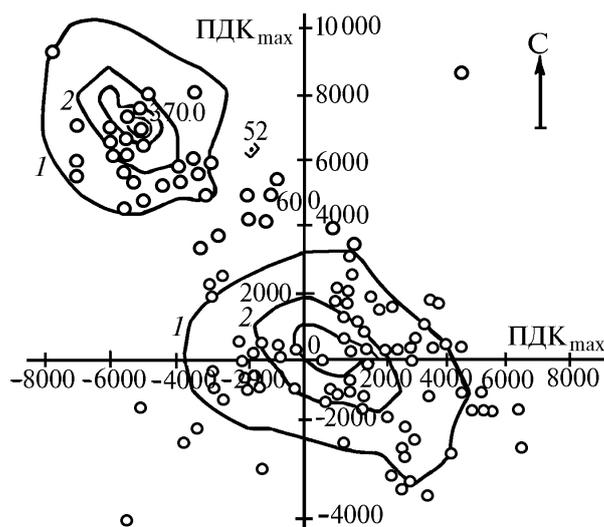


Рис. 1. Частота превышения ПДК двуокиси серы в декабре в Иркутске (·○ – точечные источники)

Основные положения метода справедливы и для описания распределения тяжелых частиц, попадающих в атмосферу в результате выбросов приподнятых источников [9] или пыления золоотвалов ТЭЦ и горно-рудных предприятий. Причем в этом случае, кроме описанных выше характеристик, можно определить еще и накопление твердых частиц на подстилающей поверхности за определенный интервал времени и выделить санитарно-защитные зоны. Однако физическая сущность пыления труб и золоотвалов различна, а именно: наибольшая концентрация вблизи приподнятых источников создается при штиле, в то время как интенсивность пыления золоотвалов минимальна. Поэтому, принимая во внимание полидисперсность пыли, решение задачи пыления золоотвалов несколько усложняется тем, что, во-первых, для каждой фракции частиц необходимо найти критическую скорость отрыва от подстилающей поверхности, а, во-вторых, указать интенсивность пыления золоотвалов.

Апробация разработанной модели проведена для золоотвалов ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 г. Омска и золоотвала ТЭЦ пос. Каменск. Диагностические варианты расчетов верифицировались непо-

средственным экспериментом. Это позволило распространить расчеты на прогностические варианты при планировании реконструкции золоотвалов, изменении их конфигурации пылящей поверхности, зон затопления, отметки гребня, высоты дамб, частичной и полной зарекультивируемости отдельных секций и пр.

Проиллюстрируем сказанное конкретными фрагментами расчетов пыления золоотвала ТЭЦ-5 г. Омска. Спектральный размер частиц золоотвала представлен в таблице; средняя насыпная плотность составляет 900 кг/м^3 .

Расчеты проведены с учетом критических скоростей, необходимых для сдвига каждого размера частиц [10–12] при условии различных вариантов затопляемости открытых поверхностей золоотвалов. Так, на рис. 2 изображены две работающие секции золоотвала ТЭЦ-5 г. Омска. Пылят ограждающие дамбы. Это диагностический вариант расчета. Изолиния 1 – достигается 0,01 значения максимальной разовой предельной допустимой концентрации ($\text{ПДК}_{\text{max}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$). Эта изолиния оконтуривает зону, где накапливается за период открытости пылящей поверхности до $6\,000 \text{ мг/м}^2$ (или, что то же, кг/км^2) пыли золы и шлаков. Изолиния 2 – соответственно 0,1 ПДК ($60\,000 \text{ мг/м}^2$), изолиния 3 – 0,5 ПДК ($300\,000 \text{ мг/м}^2$), изолиния 4 – 1 ПДК ($600\,000 \text{ мг/м}^2$), изолиния 5 – 2 ПДК ($1\,200\,000 \text{ мг/м}^2$), изолиния 6 – 3 ПДК ($1\,800\,000 \text{ мг/м}^2$). Изолиния 4 оконтуривает санитарно-защитную зону. Рис. 3 – прогностический: две секции, которые пылят в настоящее время (см. рис. 2), планируется зарекультивировать и открыть новые секции с пылящими пляжами вдоль дамб шириною 50–70 м на высоте 8,5 м и отметкой гребня в 122,6 м. Значения изолиний те же, что и на рис. 2.

Гранулометрический состав преобладающих частиц золоотвала

Диаметр частиц, мм	Содержание частиц, %
2,000–1,000	1
1,000–0,500	2
0,500–0,250	4
0,250–0,100	25
0,100–0,050	58
0,050–0,010	5
0,010–0,005	1
<0,005	4

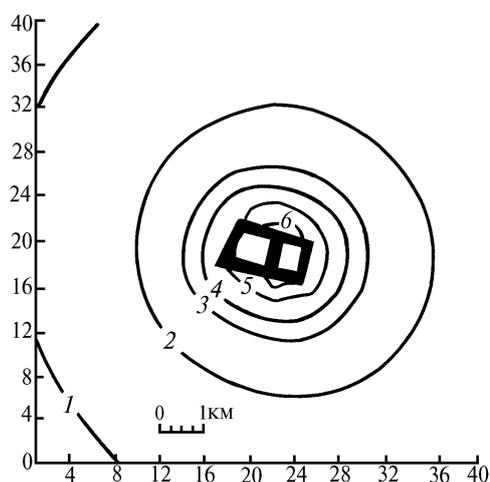


Рис. 2. Диагностический вариант пыления золоотвалов ТЭЦ-5 г. Омска: черный участок – пылящие пляжи, светлый участок – поверхности, залитые водой

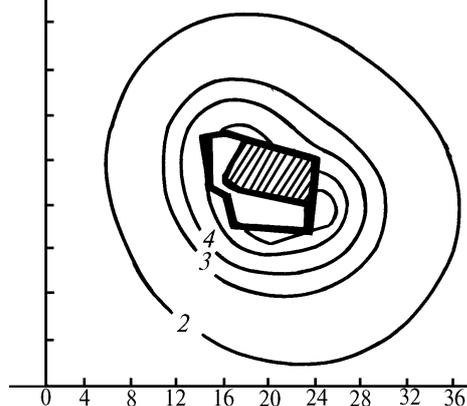


Рис. 3. Прогностический вариант пыления золоотвалов ТЭЦ-5 г. Омска: черная полоса – пылящие пляжи, светлый участок – поверхности, залитые водой, заштрихованный участок – зарекультивированные поверхности

В связи с тем что частицы в золоотвале довольно крупные, основная часть их выпадает на небольшом удалении от него. Перенос частиц на значительные расстояния возможен в следующих случаях: 1) если частицы мелкие (однако их процентный состав в золоотвалах неве-

лик), или 2) необходима большая скалярная скорость ветра, вероятность реализации которой для Омска мала (по данным многолетних наблюдений метеорологической станции Омска скорость 21 м/с возможна один раз в год; 23 – в пять лет; 24 – в десять; 25 – в пятнадцать и 26 м/с – один раз в двадцать лет).

Математические модели позволяют оценить экологическую обстановку района с целью принятия оптимальных решений.

1. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
2. Пененко В. В., Алоян А. Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
3. Марчук Г. И., Кондратьев К. Я. Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992. 263 с.
4. Аргучинцев В. К., Аргучинцева А. В., Макухин В. Л. // Моделирование и прогнозирование геофизических процессов. Новосибирск: Наука, 1987. С. 179–190.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 93 с.
6. Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы (версия 1.1.0). Эколог. НПО Ленинград: По методике ОНД-86. Инструкция пользователя. Исх. 3198/23 от 14.06.90. Л., 1990. 29 с.
7. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
8. Neuwstadt F. T. M. // Atmos. Environ. 1980. V. 14. N 12. P. 1361–1364.
9. Аргучинцева А. В. // Эколого-географическое картографирование и районирование Сибири. Новосибирск: Наука, 1990. С. 187–190.
10. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 351 с.
11. Баренблатт Г. И. Локальная структура развитых пыльных бурь. МГУ, 1973. 44 с.
12. Баренблатт Г. И. Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 250 с.

Лимнологический институт
СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
28 марта 1994 г.

A. V. Arguchintseva. Mathematical Modeling of the Climatic Distribution of Aerosols.

This paper presents an approach to description of distribution of atmospheric aerosols which uses stochastic models that are based on solution of a boundary value problem with random coefficients. Behavior of the coefficients is described by a multidimensional function of the probability density. This function is chosen so that it provides the closest approximation of the distribution laws established based on the results of many years observations. The diagnostic and prognostic (change of configurations of flooded and recultivated areas) versions of the calculations of the ash emission power of ash receptacles at heat and electric power plants.