

В.Ф. Рапута, П.В. Бурков, Е.П. Чебыкин

Контроль эффективности очистки воздушных выбросов ГРЭС по данным анализа элементного состава почв

ИФПМ СО РАН, г. Томск

ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 19.01.2001 г.

В целях проверки эффективности работы очистного оборудования необходимо проведение натурных исследований полей разового и длительного загрязнения местности в зоне действия источника. Для оценивания картины длительного загрязнения местности нами использовалась регрессионная зависимость. Проведенные исследования показали, что модели восстановления вполне адекватно описывают загрязнение почв химическими элементами в широком диапазоне расстояний, а фон довольно сильно варьируется для различных химических элементов и его необходимо учитывать при оценке суммарных выпадений.

Введение

Многие населенные пункты Сибири, даже не имеющие крупных промышленных объектов, зимой отличаются высокой степенью загрязнения воздуха. Это в первую очередь относится к поселениям, использующим для отопления каменный уголь и находящимся в условиях, не благоприятных для рассеяния загрязняющих веществ – низкие отрицательные температуры, слабые ветры в сочетании с инверсиями температур, сложная орография. В этих населенных пунктах образуется смог и выделяется большое количество токсичных продуктов сгорания каменного угля, представляющего большую опасность для здоровья населения.

Процессы, связанные со сжиганием органических веществ, сопровождаются выбросами мутагенных и канцерогенных соединений. В их число входят тяжелые металлы, полиароматические углеводороды и др. Прямое измерение выбросов этих веществ в атмосферу и математическое моделирование полей загрязнения представляют собой сложную задачу. Это обусловлено значительными неопределенностями в задании мощности эмиссии вредных примесей, описании процессов физико-химических трансформаций газовых и аэрозольных сред, текущих метеословий [1–4].

Радикальным средством защиты от загрязнений является установка очистного оборудования. Для проверки эффективности его работы необходимо проведение натурных исследований полей разового и длительного загрязнения местности в зоне действия источника. При изучении разовых выбросов требуется организация подфакельных наблюдений для различных метеословий и режимов эмиссии и очистки. Организация таких наблюдений требует значительных затрат, и для их снижения следует воспользоваться рекомендациями работ [6, 8], апробированных на источниках топливно-энергетического комплекса, на ряде химических и металлургических предприятий.

Проведение экспериментальных исследований длительного загрязнения несколько проще, поскольку требуемая метеоинформация может быть заменена климатической. В результате возникает возможность провести интерпретацию данных натурных наблюдений в рамках достаточно простых математических моделей [1, 2, 4, 6].

1. Восстановление аэрозольного загрязнения почвы по данным наблюдений

Для описания картины длительного загрязнения местности аэрозольными выбросами примеси в атмосферу в работах [5, 6] была предложена следующая регрессионная зависимость:

$$p(r, \varphi, \theta) = \theta_F + \theta_1 g(\varphi) r^{\theta_2} \exp(-2r_m/r), \quad (1)$$

где $p(r, \varphi, \theta)$ – удельное содержание примеси в почве (снеге, воздухе); r, φ – полярные координаты расчетной точки с началом в месте расположения источника; $g(\varphi)$ – вероятность противоположного φ направления ветра; r_m – точка максимальной приземной концентрации для невесомой примеси, выбрасываемой из заданного точечного источника; $\theta = (\theta_F, \theta_1, \theta_2)$ – вектор неизвестных параметров.

Регрессионная зависимость (1) получена в предположении гипотезы узкого ($10 - 15^\circ$) факела. Ее апробация на ряде химических и металлургических предприятий показала неплохое согласие с экспериментальными данными [2, 5, 6].

Если ограничиться рассмотрением среднегодовых и среднезимних значений скорости ветра, температуры воздуха и характерного для этой местности турбулентного обмена, то согласно [7] можно оценить величину r_m по геометрическим характеристикам источников и параметрам выбрасываемой газовой смеси. В частности, для котельной г. Белокуриха величина r_m приблизительно составляет около 1 км.

Оценка вектора неизвестных параметров θ может быть найдена по данным удельного содержания примеси в определенных точках местности, например методом наименьших квадратов [5].

Компонента θ_F выражает фоновое значение концентрации. Компонента θ_1 пропорциональна мощности эмиссии и имеет достаточно сложную структуру, зависящую от климатических характеристик скорости ветра, коэффициентов турбулентного обмена, скоростей оседания аэрозольной примеси.

Следующая компонента вектора, θ_2 , имеет вид

$$\theta_2 = -2 - w/[k_1(n + 1)], \quad (2)$$

где w – скорость седиментации аэрозольных частиц; k_1 – коэффициент вертикальной турбулентной диффузии на высоте 1 м; n – показатель степени в аппроксимации горизонтальной компоненты скорости ветра степенным профилем. Случай $\theta_2 = -2$ или соответственно $w = 0$ отвечает случаю невесомой примеси, т.е. $\theta_2 \leq -2$. Оптимальный план наблюдений для оценивания параметров θ_1 и θ_2 соответствует согласно [8] точкам, удаленным от трубы на 0,5 и 1,5 км.

2. Экспериментальные исследования

В качестве объекта исследования была выбрана ГРЭС г. Белокуриха Алтайского края. Она является основным источником атмосферных загрязнений в этом районе. В связи с установкой фильтров по очистке воздушных выбросов ГРЭС возникла необходимость проверки эффективности их действия.

Одной из характеристик длительного аэрозольного загрязнения местности является химический состав поверхностного слоя почвы. Для подготовки программы испытаний фильтров нового поколения на примере ГРЭС г. Белокуриха были организованы два экспедиционных выезда в мае и июне 1998 г. Географическое расположение объекта исследования по отношению к курортной зоне района весьма удобно с позиций оптимального планирования подфакельных наблюдений загрязнения атмосферы, маршрутных пробоотборов почвы и снега. С учетом господствующих ветров был осуществлен отбор проб поверхност-

ного грунта в северном направлении на расстояниях, кратных 10, 20, 30, 40 и 50 высотам источника [8] (высота трубы составляет 50 м). Отбор проб почвы проводился с квадратов площадью 25 м². Каждый квадрат разбивался на 10 секторов, из которых отбиралась проба по 200 см³. Далее эти пробы объединялись и проводился химический анализ элементного состава образцов для квадрата в целом.

Полуколичественный анализ проб почвы выполнялся в Лимнологическом институте СО РАН методом ICP-MS на приборе Plasma Quad II фирмы VZ Elemental. Метод позволяет определить около 70 элементов и их изотопный состав. Одно из достоинств метода – низкие пределы обнаружения (ПО), сравнимые с ПО нейтронно-активационного анализа. Для большинства металлов ПО составляют 0,01 ppb (мкг/кг).

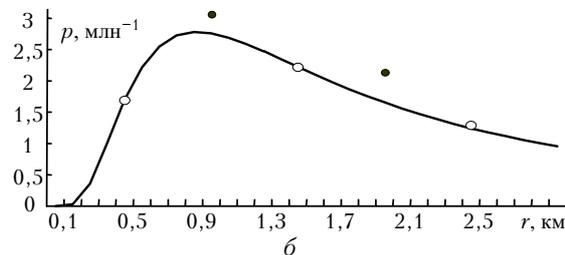
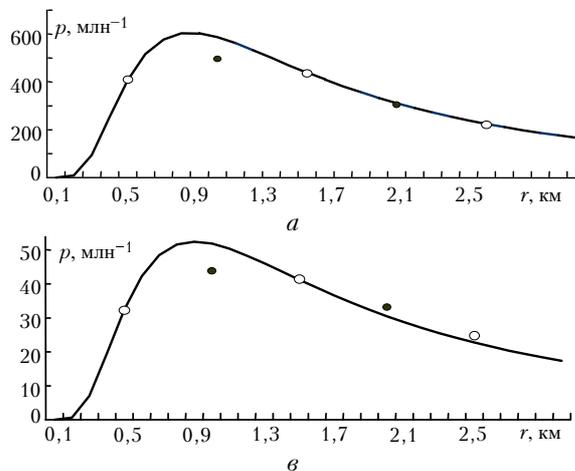
3. Численное моделирование

Полученные экспериментальные данные позволяют провести их интерпретацию средствами математического моделирования. Использование зависимости (1) и данных наблюдений, приведенных в таблице, позволяет провести восстановление картины загрязнения местности отдельными химическими элементами.

Оценки параметров регрессии (1) для различных химических элементов

Вещество	Оценка параметров		
	θ_F	θ_1	θ_2
Cs ¹³³	1,5	20,4	-2,18
Fe ⁵⁴	10000	214400	-2,3
Mn ⁵⁵	340	43,35	-2,36
Th ²³²	0	151,4	-2,16
Bi ²⁰⁹	0	6,02	-2,24
Pb ²⁰⁶	0	13,89	-2,52
La ¹³⁹	0	383	-2,21
Y ⁶⁹	17	83,5	-2,18
Ti ⁴⁹	2000	20606	-2,33
Tb ¹⁵⁹	0,45	3,81	-2,16
Ce ¹⁴⁰	20	701,2	-2,1

Результаты восстановления аэрозольных выпадений химических элементов приведены на рисунке.



Распределение химических элементов в зависимости от расстояния до источника (кривая – численный эксперимент, точки – данные экспедиции): а – Mn⁵⁵; б – Cs¹³³; в – La¹³⁹

Анализ рисунка показывает удовлетворительное согласие расчетов с измерениями для выбранных элементов.

Данные таблицы с учетом среднезимней розы ветров позволяют провести оценку снизу суммарных выбросов ГРЭС за зимний сезон 1998/99 гг. Для ряда элементов фоновые значения довольно велики. Для некоторых они практически отсутствуют. Оценки θ_1 дают возможность установить относительные суммарные аэрозольные выпадения элементов. Оценки θ_2 показывают, что скорости оседания аэрозольных частиц, содержащих рассматриваемые химические элементы, в основном невелики.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Модели восстановления вполне адекватно описывают загрязнение почв химическими элементами в широком диапазоне расстояний.

2. Их оседание в основном происходит в виде легких аэрозольных фракций. В случае больших скоростей оседания необходима дополнительная корректировка моделей восстановления и размещения точек пробоотбора.

3. Фон довольно сильно варьируется для различных химических элементов, и его необходимо учитывать при оценке суммарных выпадений.

4. Для более корректной оценки регрессионных зависимостей, суммарных выпадений химических элементов необходимо проведение мониторинга загрязнения снежного покрова в окрестности ГРЭС.

1. Коковкин В.В., Рапута В.Ф., Шуваева О.В. Пространственная динамика аэрозольных выбросов угольной котельной // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. Вып. 5. С. 477–483.
2. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е., Коковкин В.В., Морозов С.В., Вялков А.И. Экспериментальное и теоретическое исследование выбросов ПАУ угольными котельными и электростанциями // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 12. № 6. С. 540–543.
3. Беляев С.П., Бесчастнов С.П., Хомушку Г.М., Моршина Т.И., Шилина А.И. Некоторые закономерности загрязнения природной среды продуктами сгорания каменного угля на примере г. Кызыла // Метеорол. и гидрол. 1997. № 12. С. 54–62.
4. Болтнева Л.И., Брюханов П.А., Назаров И.М., Тульчинский В.М., Тюльтева Л.И. Самолетные исследования ПАУ в факеле теплоэлектростанций // Дальний атмосферный перенос загрязняющих веществ. М.: Гидрометеиздат, 1988. С. 143–149.
5. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е. Реконструкция выпадений бенз(а)пирена в окрестностях Новосибирского электродного завода // Метеорол. и гидрол. 1997. № 2. С. 33–41.
6. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е. Модель длительного загрязнения местности аэрозольными источниками // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 6. С. 616 – 622.
7. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
8. Крылова А.И., Рапута В.Ф., Суторихин И.А. Планирование и анализ подфакельных наблюдений концентрации примеси в атмосфере // Метеорол. и гидрол. 1993. № 5. С. 5–13.

V.F. Raputa, P.V. Burkov, E.P. Chebykin. Control of efficiency of power station emissions purification using the data on elemental composition of soil.

Many inhabited localities of Siberia, even those which have no large industrial objects, are characterized by high degree of air pollution in winter. To examine the efficiency of operation of the decontamination equipment, it is necessary to investigate the fields of one-time and long-term pollution of the area in the source influence zone. The regression dependence is used in this paper for description of the long-term pollution of area. Investigations have shown that the reconstructing models adequately describe the soil pollution by chemical elements in wide range of distances, and the background contents of different chemical elements significantly vary, hence, it is necessary to take them into account when estimating the total fallout.