

В.И. Макаров, Ю.Н. Самсонов, В.В. Королев, В.Ф. Рапута

**ИЗМЕРЕНИЕ 3,4-БЕНЗ(А)ПИРЕНА В АЭРОЗОЛЯХ АТМОСФЕРЫ
И В ВЕТРОВОМ СТВОРЕ ОТ ДЫМОВЫХ ТРУБ ТЕПЛОЙ СТАНЦИИ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПРОГНОЗА ЛОКАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ**

Проведены измерения содержания 3,4-бенз(а)пирена в атмосферных аэрозолях в ветровом створе теплостанции. Используя эти данные, численным математическим моделированием были оценены мощности источников бенз(а)пирена. Измерены среднесуточные концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе Академгородка и его окрестностей.

Введение

Одними из наиболее опасных канцерогенов, которые попадают в атмосферу в результате человеческой деятельности, являются полиароматические углеводороды. Их основными источниками служат теплоэлектростанции, автотранспорт, химическая промышленность и другие производства, связанные с термической переработкой органических веществ.

Поступая в атмосферу, полиароматические углеводороды либо, конденсируясь, превращаются в аэрозоли, либо адсорбируются на аэрозольных частицах, уже находящихся в атмосфере или в выбросах самого источника. По-видимому, можно полагать, что основная масса полиароматических углеводородов существует в атмосфере в виде аэрозолей.

Из ряда полиароматических углеводородов весьма опасным канцерогеном является 3,4-бенз(а)пирен, предельно допустимая концентрация (ПДК) которого в атмосфере составляет $1 \text{ нг}\cdot\text{м}^{-3}$ ($10^{-9} \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$). Поэтому очень важно иметь методики достоверного измерения столь низких концентраций в атмосфере, оценивать мощность источника и поле концентраций бенз(а)пирена на территориях, прилегающих к источникам, а также регистрировать вариации этих концентраций по времени суток, по сезонам или по годам.

Следует отметить, что прямое измерение мощности источника, например какой-либо ТЭЦ, представляет собой довольно сложную задачу, которая связана с наличием высоких и неоднородных, по сечению и по высоте трубы, температур, с труднопредсказуемыми физико-химическими трансформациями газовых и аэродисперсных сред внутри трубы и т.п. Возможен другой подход, который основан на математическом моделировании процессов распространения и диссипации аэрозольных примесей в атмосфере и на экспериментальных измерениях концентраций примеси в нескольких критически важных точках. Основываясь на этих данных, можно решить обратную математическую задачу по восстановлению полей концентраций и мощностей источников в зависимости от метео- и ландшафтных условий.

Цель работы заключалась в проведении вышеописанных экспериментальных измерений и математического моделирования, а также в определении среднесуточных фоновых концентраций бенз(а)пирена в Новосибирском Академгородке и его окрестностях.

Методика проведения экспериментов

Отбор проб аэрозоля осуществлялся с помощью передвижной физической лаборатории, смонтированной в фургоне автомобиля ГАЗ-66. Питание заборных устройств поступало от дизельной электростанции АД-10. На различных удалениях от источника производился отбор проб аэрозоля на фильтры АФАХА-20 с объемной скоростью $5 \text{ м}^3\cdot\text{ч}^{-1}$. Время отбора пробы составляло 20 мин. Точки отбора проб располагались по осевой линии от источника по на-

правлению ветра. Скорость ветра измерялась анемометром АСО-3, направление ветра определяли по флюгеру и компасу.

Для нахождения суточной концентрации бенз(а)пирена в атмосфере были организованы две точки отбора: 1) на крыше института в Новосибирском Академгородке; 2) в поселке Ключи на удалении 12 км от Академгородка.

Пробы отбирались на фильтры АФАХА-20, с объемной скоростью $5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ на пробоотборнике в институте и $13 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ в пос. Ключи. Период отбора проб длился с 25 января по 8 февраля 1995 г. Через каждые сутки проводилась смена фильтров.

Вещества, осевшие на фильтрах, экстрагировались *n*-гексаном, объемом 1 – 2 мл на фильтр. Полученный экстракт анализировался газохроматографическим способом на содержание дибутилфталата и некоторых галогенсодержащих соединений. Затем гексан из пробирки выпаривался и в пробирку заливался чистый *n*-октан. Измерение количества 3,4-бенз(а)пирена осуществлялось методом низкотемпературной селективной флуоресценции бенз(а)пирена в низкотемпературной стеклообразной матрице Шпольского [1]. Регистрация селективной флуоресценции бенз(а)пирена проводилась без дополнительной очистки, так как наличие многих примесей в растворе не влияет на селективную чувствительность метода. Предельная чувствительность метода по бенз(а)пирену – $5 \cdot 10^{-11} \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1}$.

О математической методике оценки полей концентраций

Расчеты полей приземной концентрации бенз(а)пирена в ветровом створе от дымовых труб и оценки мощностей этих источников проводились на основе решения обратных задач по восстановлению значений этих концентраций в произвольных местах, исходя из набора опытных данных, полученных лишь в нескольких точках вблизи вышеупомянутых труб.

Рассмотрим эту методику на примере конкретного источника – тепловой станции ТС-2, расположенной в окрестностях Новосибирского Академгородка. Станция находится в долине небольшой речки, северо-восточный склон которой проходит в 300 м от станции и имеет форму уступа высотой около 30 м. Основная часть полевых измерений проводилась на относительно ровной местности, к северу и к северо-востоку от станции. Измерения велись в дневное время осенью, в условиях интенсивного перемешивания приземного атмосферного слоя. Основным топливом станции являлся мазут, основные выбросы при ее работе производились через две близко расположенные трубы, высота которых 100 и 60 м.

Отсутствие прямых данных о мощностях источников, т.е. об интенсивностях выбросов бенз(а)пирена в атмосферу, не позволяет проводить прямое моделирование процессов пространственного распространения примесей в атмосфере. Поэтому наиболее целесообразным может быть метод математического моделирования на основе решения обратной задачи по оцениванию зоны загрязнения, исходя из небольшого набора экспериментальных данных. Ввиду ограниченности информации о метеофизических характеристиках атмосферы во время проведения измерений, для оценок полей концентрации была использована методика ОНД-86 [2], которая применима к вышеописанным условиям проведения экспериментальных измерений. Методика позволяет, с учетом конкретного рельефа местности, находить по скорости ветра, по температуре воздуха, а также по высоте трубы и по теплофизическим параметрам выходящего из нее газоздушного потока местоположение максимальных приземных концентраций примесей. Затем, основываясь на этих точках, рассчитываются профили осевых приземных концентраций, полагая единичные мощности обоих источников $1 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$.

Следовательно, суммарную осевую концентрацию примеси можно представить в виде

$$q(x, \bar{\theta}) = \theta_1 \Psi_1(x/x_{1\max}) + \theta_2 \Psi_2(x/x_{2\max}). \quad (1)$$

Здесь ось *X* ориентирована по оси ветрового створа от источников (считаем положением обоих источников $x = 0$). Величины θ_1 и θ_2 – интенсивности выбросов бенз(а)пирена для труб высотой $H_1 = 100 \text{ м}$ и $H_2 = 60 \text{ м}$ соответственно. Функции Ψ_1 и Ψ_2 – осевые приземные концентрации, соответствующие мощностям выбросов от обоих источников по $1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-1}$. Параметры $x_{1\max}$ и $x_{2\max}$ – координаты точек максимальных концентраций от первого и второго источников.

Согласно сведениям из Экологического паспорта ТС-2 мощность выбросов всех примесей из первой трубы приблизительно в 4 раза больше, чем из второй. Поэтому в уравнении (1) можно положить

$$\theta_2 = 0,25\theta_1. \quad (2)$$

Обсуждение полученных результатов

Для проведения численного восстановления осевых концентраций в ветровом створе и для их сопоставления с экспериментально измеренными данными были выбраны 4 точки к северо-востоку от ТС-2. Их положение и сведения о скорости ветра (на высоте 2 м) в моменты проведения отбора проб представлены в таблице. В работах [3, 4] показано, что в обратной задаче оценивания (восстановления) интенсивностей источников по результатам небольшого числа экспериментальных измерений приземных концентраций примесей наиболее значимыми (т.н. оптимальным планом наблюдений) являются точки x_{\max} . Поэтому для определения неизвестного параметра θ_1 целесообразно взять в качестве «плана наблюдений» точку, расположенную на расстоянии 1000 м (согласно данным таблицы).

Исходя из известной в этой точке концентрации приземной примеси с учетом (1) и (2), находится значение параметра θ_1 , т.е. интенсивность данного источника. Применительно ко времени проведения измерений мощность выброса бенз(а)пирена из первой трубы составляла $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$, из второй – $0,52 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$. Эти величины приводят к выбросам 6,5 и 1,6 кг 3,4-бенз(а)пирена в год соответственно.

В таблице представлено сопоставление результатов прямого моделирования переноса примесей бенз(а)пирена от вышеописанных дымовых труб (учитывая их ранее найденные интенсивности) и экспериментально полученных результатов в нескольких точках вблизи оси ветрового створа. Наблюдается удовлетворительное согласие между восстановленными и экспериментальными значениями. Максимальное расхождение результатов составляет примерно 40%.

Экспериментальные и расчетно-восстановленные приземные концентрации 3,4-бенз(а)пирена, $\text{нг} \cdot \text{м}^{-3}$, в ветровом створе дымовых труб ТС-2

Расстояние от источника, м	Скорость и направление ветра, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Концентрации	
		измеренные	рассчитанные
1000	4,0 Ю-З	1,20*	1,20*
1300	3,0 Ю-З	0,96	1,12
1500	2,0 Ю-Ю-З	0,60	1,00
2200	2,5 Ю	0,64	0,72

* Значения, использованные для оценки мощности источника.

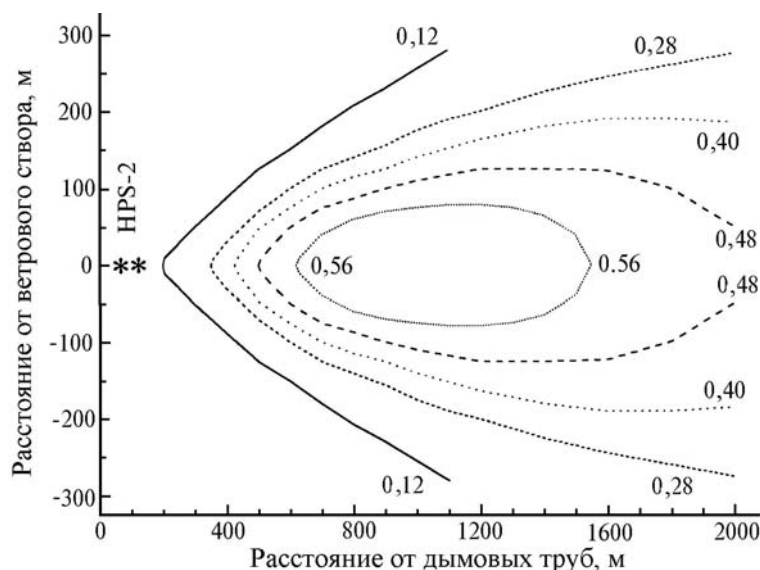


Рис. 1. Поле приземной концентрации бенз(а)пирена в долях ПДК ($u = 3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$)

Найденные величины интенсивностей источников бенз(а)пирена позволяют проводить прогностическое моделирование уровней загрязнения бенз(а)пиреном атмосферного воздуха на различных расстояниях от источника, при различных метеорологических и ландшафтных ситуациях. На рис. 1 представлен вариант расчета потенциальных полей концентраций бенз(а)пирена (выраженных в долях его ПДК, $1 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$), могущих возникнуть при ветровом сносе примесей из вышеуказанных труб в направлении к ближайшей жилой зоне Академгородка (к западу от станции). При этом скорость ветра ($3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) была выбрана такой, при которой возникающие приземные концентрации обычно наиболее опасны [2]. Из рисунка видно, что на всех реальных расстояниях жилой зоны от станции (не менее 1000 м) уровни загрязнения воздуха 3,4-бенз(а)пиреном не превышают ПДК, хотя и достаточно близки к ним.

Результаты измерений среднесуточных приземных концентраций бенз(а)пирена в Академгородке и в пос. Ключи представлены на рис. 2 (кривые 1 и 2 соответственно). Видно, что в Академгородке среднесуточные концентрации, как правило, превышают допустимые значения в 1,5–3 раза. В то же время в несколько удаленном от Академгородка пос. Ключи концентрации, как правило, заметно ниже ПДК. Разумно полагать, что причиной повышенных концентраций в урбанизированном Академгородке является достаточно интенсивный автотранспорт. Вероятно, значения бенз(а)пиреновых загрязнений в пос. Ключи отражают его средне-региональные уровни и соответствуют известным литературным данным.

Для сравнения на рис. 2 представлены измерения концентраций другой распространенной атмосферной примеси – дибутилфталата, широко применяемого при производстве пластмасс, в мебельной промышленности (ПДК = $100 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$). Также видна корреляция между приземными концентрациями и степенями урбанизации мест отбора проб.

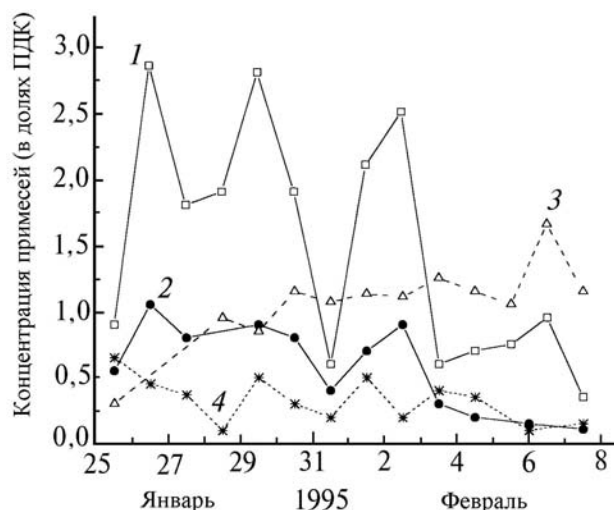


Рис. 2. Концентрация 3,4-бенз(а)пирена и дибутилфталата в виде аэрозолей в приземном слое атмосферы: бенз(а)пирен: Академгородок (кривая 1), п. Ключи (2); дибутилфталат: Академгородок (кривая 3), п. Ключи (4)

На основании проведенной работы могут быть сделаны следующие выводы:

Результаты расчетов полей приземной концентрации атмосферных примесей удовлетворительно согласуются с данными наблюдений при корректном учете топографии местности, метеорологических условий и данных о структурных особенностях источников выбросов.

При проведении подобных исследований необходимо уделять особое внимание оптимальному размещению точек отбора проб.

Для оценки вклада в поля концентраций от низких источников и уточнения параметров их выбросов необходимы дополнительные обследования.

Взаимодействие различных этапов проведения исследований оказалось достаточно успешным, и полученный опыт может быть использован для изучения других источников загрязнения атмосферы бенз(а)пиреном и другими примесями.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (95–05–15575).

1. Алексеев Г.А., Теплицина Т.А. Спектрофлуориметрические методы анализа ароматических углеводородов в природных и техногенных средах. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 215 с.
2. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 93 с.
3. Пененко В.В., Рапуга В.Ф. // Метеорология и гидрология. 1982. N 8. С. 38 – 46.
4. Пененко В.В., Рапуга В.Ф. // Известия АН СССР. Сер. ФАО. 1985. Т. 21. N 9. С. 913 – 920.

Институт химической кинетики и горения СО РАН,
Вычислительный центр СО РАН, г. Новосибирск

Поступила в редакцию
26 января 1996 г.

V.I. Makarov, Yu.N. Samsonov, V.V. Korolev, V.F. Raputa. **Measurement of 3,4-benz(a)pyrene in Atmospheric Aerosols and Wind Transit from Power Station Chimneys and Use of Mathematical Simulation in Forecasting of Local and Regional Transfer of the Contaminant.**

The concentration of the 3,4-benz(a)pyrene in the atmospheric aerosols and wind transit from the power stations was measured. The benz(a)pyrene sources strength was estimated by the mathematical simulation method based on the measuring data. The contaminant daily mean concentration in the air of the Academy town and its environs was also measured.