

В.Ф. Рапута, В.В. Коковкин, О.В. Шуваева, С.В. Морозов

## Изменение структуры аэрозольных выбросов автотранспорта г. Новосибирска при переходе на использование неэтилированного бензина

ИВМиМГ СО РАН, ИНХ СО РАН, НИОХ СО РАН, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 29.11.2000 г.

Предложена модель восстановления длительного аэрозольного загрязнения окрестностей автотрассы, содержащая небольшое число неизвестных параметров. На данных маршрутной снегосъемки в конце зимы 1999/2000 г., выполненной в зоне интенсивного влияния Советского шоссе г. Новосибирска, проведено восстановление уровней содержания в снеге свинца, полиароматических углеводородов, макрокомпонентов. Проведены анализ структурных изменений аэрозольных выбросов автотранспорта и сравнение с предшествующим зимним периодом.

### Введение

Одним из основных источников загрязнения г. Новосибирска является автомобильный транспорт. Характерными загрязняющими примесями являются оксиды серы и азота, тяжелые металлы, в частности свинец, полиароматические углеводороды (ПАУ). Выбросы автотранспортом свинца и его соединений представляют значительную опасность для окружающей среды. Они обусловлены широким применением свинцовых присадок, являющихся антидетонационными агентами, для получения бензина с высоким октановым числом.

Существенной мерой по снижению выбросов вредных примесей в окружающую среду, в том числе соединений свинца, является перевод автотранспорта на неэтилированный бензин. Для достижения ожидаемой эффективности необходимо выполнение комплекса технических условий эксплуатации автомобильных двигателей [1–3]. В противном случае проводимые мероприятия могут привести к неоднозначным результатам.

В Новосибирской области в течение 1999 и 2000 гг. происходило интенсивное замещение этилированного бензина на неэтилированный, что требует разработки и применения эффективных методов контроля происходящих изменений. В качестве индикатора длительного загрязнения окрестностей автотрасс целесообразно использовать снеговой покров [4, 5]. Для повышения информативности данных наблюдений необходимы выявление и использование количественных закономерностей распространения вредных примесей от автомагистралей.

### 1. Модели восстановления

Пусть ось  $y$  направлена вдоль автотрассы, ось  $x$  расположена в горизонтальной плоскости и перпендикулярна оси  $y$ . Тогда для однородной местности поле  $q(x, y)$  длительного аэрозольного загрязнения окрестностей участка автотрассы можно описать следующим образом [6]:

$$q(x, y) = \int_0^{L_1} \int_{L_2}^{2\pi} [S(a)/2\sqrt{\pi k_0 a}] e^{-b^2/(4k_0 a)} P(\varphi) d\eta d\varphi, \quad (1)$$

где  $L_1, L_2$  – концы участка автотрассы;  $a = x \cos \varphi + (y - \eta) \sin \varphi$ ;  $b = -x \sin \varphi + (y - \eta) \cos \varphi$ ,  $\varphi$  – угол между осью  $x$  и направлением ветра;  $S(a)$  – приземное поле концентрации от линейного источника;  $k_0$  – коэффициент, характеризующий турбулентную диффузию примеси в поперечном к ветру направлении;  $P(\varphi)$  – вероятность противоположного  $\varphi$  направления ветра.

Поле аэрозольных выпадений  $S(a)$  от линейного источника определяется на основе решения полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы [6, 7] с естественными граничными условиями:

$$u \frac{\partial S}{\partial a} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k(z) \frac{\partial S}{\partial z}, \quad (2)$$

где  $u$  – скорость ветра в направлении подвижной оси  $a$ ;  $w$  – скорость оседания аэрозольной примеси;  $k(z)$  – коэффициент вертикального турбулентного обмена.

Расчет по формуле (1) можно упростить, если воспользоваться аналитическим решением уравнения (2) для случая степенных представлений функций  $u(z)$  и  $k(z)$  в приземном слое атмосферы [6, 7].

В этом случае имеет место соотношение [6, 8]:

$$S(r, \theta) = \frac{\theta_1}{r^{\theta_2}} \exp(-r_m/r), \quad (3)$$

где

$$\theta_1 = \frac{G r_m^{\omega}}{2(1+n) k_1 \Gamma(1+\omega)}; \quad \theta_2 = 1 + \omega;$$

$$\omega = \frac{w}{k_1(n+1)}; \quad r_m = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}; \quad (4)$$

$G$  – мощность линейного источника;  $n$  – показатель степени в аппроксимации скорости ветра степенным профилем;  $k_1$  – коэффициент вертикального турбулентного обмена на высоте 1 м;  $\Gamma(1 + \omega)$  – гамма-функция.

Использование соотношения (3) позволяет снизить число неизвестных параметров в формуле (1) до четырех ( $\theta_1, \theta_2, r_m, k_0$ ), которые могут быть определены по данным измерений поля концентрации не менее чем в четырех различных точках. Число неизвестных параметров уменьшается, если автотрасса проходит в поперечном направлении к господствующим ветрам. В этом случае зависимость от параметра  $k_0$  практически исчезает и восстановление загрязнения с подветренной стороны дороги проводится по формуле (3) на основе оценок параметров  $\theta_1$  и  $\theta_2$ . Величина  $r_m$  соответствует точке максимума приземной концентрации примеси для слабо оседающей примеси ( $\theta_2 \rightarrow 1$ ) [6] и может быть предварительно найдена.

## 2. Оценивание полей загрязнения

Объектом исследования являлся участок Советского шоссе в левобережной части Советского района г. Новосибирска. Этот участок дороги направлен с юго-востока на северо-запад. В зимнее время правая сторона дороги подвергается наибольшему загрязнению в силу высокой повторяемости ветров южного и юго-западного направлений, составляющей более 60% [9]. Такая ориентация автотрассы упрощает задачи исследования, так как позволяет ограничиться проведением маршрутной снегосъемки с подветренной стороны и использовать для интерпретации данных наблюдений модель (3). Более масштабное экспериментальное изучение загрязнения снега в окрестностях этого участка проводилось в конце зимы 1999 г. [5]. Оно позволило установить количественные закономерности распределения аэрозольных загрязнений. Основной задачей исследования 2000 г. являлись уточнение зон интенсивного загрязнения местности непосредственно выхлопами автотранспорта и оценивание характеристик аэрозольных выбросов. В связи с этим отбор проб снега проводился на расстояниях не менее 20 м от полотна дороги.

Восстановление уровней загрязнения снежного покрова велось на основе регрессионной зависимости (3) в приближении тяжелой и слабо оседающей ( $\theta_2 \rightarrow 1$ ) примеси. Для примесей с относительно высокими скоростями оседания оценивание параметров (3) выполнялось по наблюдениям, полученным на расстояниях 20 и 35 м (опорные точки). Остальные точки использовались для контроля точности.

На рис. 1 представлены результаты восстановления  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , бенз(а)пирена, свинца. Анализ рис. 1, 2 показывает, что уровень соответствия расчета наблюдениям в контрольных точках достаточно высокий. Некоторые расхождения имеют место в точке, удаленной на 50 м от автотрассы, что объясняется недостаточным учетом эффекта полидисперсности.

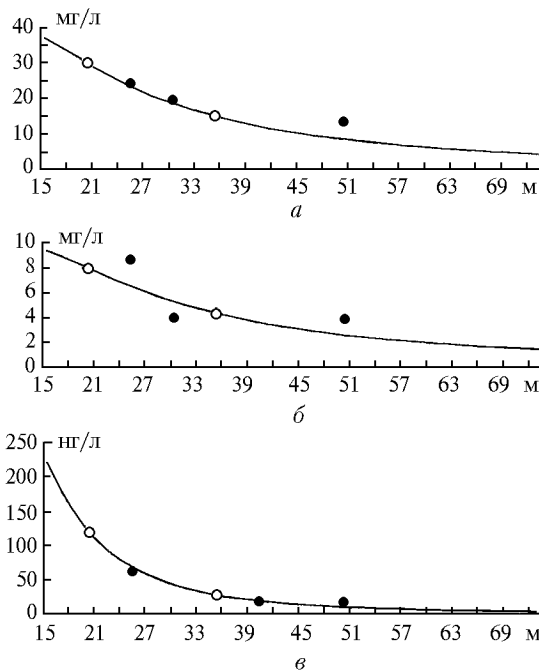


Рис. 1. Рассчитанное и измеренное удельное содержание в снеге нитратов (а), сульфатов (б), бенз(а)пирена (в) (○ – опорные, ● – контрольные точки)

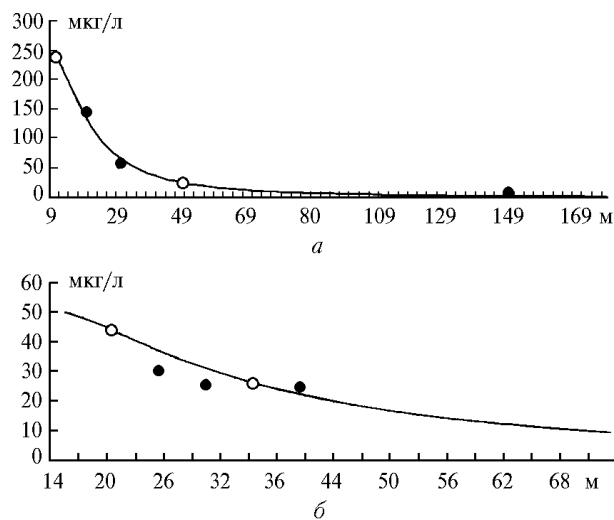


Рис. 2. Распределение свинца в снеге для зимних сезонов 1998/99 (а) и 1999/2000 гг. (б)

## 3. Структурные изменения выбросов автотранспорта

Согласно соотношениям (3), (4) оценки параметра  $\theta_2$  характеризуют средние скорости  $w$  оседания аэрозольных частиц в окрестности автотрассы и непосредственно связаны с их размерами. Согласно (4) изменения относительной скорости оседания  $\lambda$  можно описать следующим выражением:

$$\lambda = \frac{\theta_2^{**} - 1}{\theta_2^* - 1}, \quad (5)$$

где  $\theta_2^*$ ,  $\theta_2^{**}$  – оценки параметра  $\theta_2$  для зимних сезонов 1999 и 2000 гг. соответственно.

Оценку аэрозольных выпадений  $M$  выбросов автотранспорта будем проводить на основе (3) согласно формуле

$$M = \int_{10 \text{ м}}^{50 \text{ м}} S(r, \theta) dr. \quad (6)$$

В табл. 1 представлены оценки параметров  $\theta_2$  и  $M$  по данным маршрутных снеговосъемок 1999 и 2000 гг. для некоторых компонентов ПАУ. При оценке суммарного содержания ПАУ в окрестностях автотрассы привлекалась информация о влагозапасе снега на маршрутах снегоотбора. Масса снега по пробам 1999 г. в среднем составила 103 кг/м<sup>2</sup>, в 2000 г. она увеличилась до 140 кг/м<sup>2</sup>.

Из табл. 1 видно, что в 2000 г. по сравнению с прошлым зимним сезоном поступление компонентов ПАУ в придорожную полосу от 10 до 50 м увеличилось от 1,5 до 3 раз. Скорость относительного оседания аэрозольных частиц, содержащих ПАУ, значительно изменилась. Ее рост для различных ПАУ составил от 4 до 10 раз. Отсюда следует, что произошел также рост средних размеров частиц с ПАУ, которые увеличились, согласно формуле Стокса [6], в 2–3 раза.

Таблица 1

Оценки суммарных выпадений и относительных скоростей оседания ПАУ

ПАУ	Оценка $\theta_2$		Оценка выпадений, $M$ , г/км		Скорость относительного оседания, $\lambda$
	1999 г.	2000 г.	1999 г.	2000 г.	
Бенз(а)пирен	1,27	3,6	0,16	0,55	9,6
Флуорантен	1,45	4,08	1,2	1,9	7
Пирен	1,72	4,2	0,6	1,5	4,4

Таблица 2

Долевое распределение свинца по фракциям, %

Зимний сезон	Фракция	Расстояние от автотрассы, м		
		20	30	50
1998/99 г.	В	1,4	2,7	2,8
	М	0,4	6,1	2,5
	К	98,2	91,2	94,7
1999/2000 г.	В	7	14	9
	М	22	28	30
	К	71	59	61

Примечание. В – водная, М – мелкая, К – крупная фракции.

В табл. 2 представлены данные по распределению различных форм свинца для зимних сезонов 1998/99 и 1999/2000 гг. Ее анализ показывает, что к 2000 г. произошло существенное изменение соотношения содержания свинца между фракциями. Если в 1999 г. для всех расстояний абсолютно доминировала крупнодисперсная фракция, то в 2000 г. суммарный вклад мелкодисперсной фракции и водорастворимой части стал сопоставимым с ней. Для придорожной полосы 10–50 м суммарное содержание свинца в снеге для зи-

мы 1998/1999 г. составило около 400 г/км, а в зимний сезон 1999/2000 г. примерно 193 г/км. Из данных табл. 2 вытекает, что произошедшее снижение содержания свинца, в основном, связано с уменьшением крупнодисперсной составляющей.

## Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать ряд выводов.

В области интенсивного загрязнения местности выхлопами автотранспорта распределения удельного содержания макрокомпонентов, ПАУ, суммы содержания свинца в растворенной и нерастворенной фракциях вполне удовлетворительно описываются моделью (3) линейного приподнятого источника. Максимум приземной концентрации для слабо оседающей примеси формируется на расстоянии 25 м от полотна дороги.

Наибольшие изменения за зимний сезон 1999/2000 г. произошли в выбросах ПАУ. Суммарное поступление в придорожную полосу от 10 до 50 м для бенз(а)пирена выросло в 3 раза, флуорантена и пирена в 1,5 и 2,5 раза соответственно. Средние размеры аэрозольных частиц, содержащих ПАУ, также заметно увеличились. Для рассматриваемых компонентов ПАУ они изменились от 2 до 3 раз по сравнению с зимним сезоном 1998/99 г.

В результате использования в качестве горючего больших объемов неэтилированного бензина наряду с этилированным произошли существенные изменения как в структуре аэрозольных выбросов автотранспорта, так и в массе поступающих вредных примесей. Суммарное снижение свинца в 2000 г. происходило в основном за счет крупнодисперсной фракции. Это обстоятельство следует учитывать при оценке эффективности проводимых мероприятий, поскольку крупнодисперсная фракция свинца представляет меньшую опасность при загрязнении окружающей среды.

Для получения более полной картины загрязнения окрестностей автотрассы необходимо проведение дополнительных исследований, связанных с влиянием эффектов полидисперсности и воздействием снегоборочной техники на прилегающую к автотрассе полосу.

1. Александров В.Ю., Кузубова Л.И., Яблокова Е.П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. Аналитический обзор. Вып. 34. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 1995. 32 с.
2. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 250 с.
3. Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г. Обнаружение промышленных загрязнений почвы и атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 136 с.
4. Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. 186 с.
5. Коковкин В.В., Рапута В.Ф., Шуваева О.В., Морозов С.В. // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 8. С. 788–792.
6. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 448 с.
7. Бызова Н.Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы. М.: Гидрометеоздат, 1974. 192 с.
8. Крылова А.И., Рапута В.Ф., Суторихин И.А. // Метеорология и гидрология. 1993. № 5. С. 5–13.
9. Климат Новосибирска. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 222 с.

V.F. Raputa, V.V. Kokovkin, O.V. Shuvaeva, S.V. Morozov. The structure of the autotransport pollution in Novosibirsk when using the non-ethylated gasoline.

The model of reconstruction of long-term aerosol contamination of highway vicinity with a small number of unknown parameters is described. The reconstruction of the concentration levels of lead, polycyclic aromatic hydrocarbons, and macro-components using data of snow sampling at the end of 1999–2000 winter period in the zone of strong influence of the Soviet motorway was carried out. The analysis of structural changes of motor aerosol pollution as compared with the previous winter period was made.