

В.Ф. Рапута, А.П. Садовский, С.Е. Олькин, И.К. Резникова

Исследование аэрозольных выпадений полициклических ароматических углеводородов в районе Новосибирского электродного завода

*НИИ аэриологии ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово Новосибирской обл.,
ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 2.09.2000 г.

На данных маршрутной снегосъемки в районе завода проведено восстановление удельного содержания ПАУ по ограниченному числу точек наблюдений. Сравнение результатов расчета с данными наблюдений в контрольных точках показало вполне удовлетворительное согласие. С использованием сведений о климатической повторяемости скоростей ветра в зимнее время предложена модель кинематического загрязнения местности и на ее основе получены оценки скоростей выпадений ПАУ.

Введение

Новосибирский электродный завод, расположенный в 80 км к югу от Новосибирска, производит графитовые и угольные электроды, благодаря чему вносит существенный вклад в загрязнение окружающей среды полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), в том числе бенз(а)пиреном. Для определения зон выпадения ПАУ в 1993–1994 гг. было проведено обследование земель в окрестностях завода на площади, превышающей 100 км². В результате была выявлена довольно пестрая картина загрязнения больших территорий, интерпретация которой вызвала определенные затруднения. В связи с этим начиная с 1995 г. предприятием «Вектор-Экоцентр» ведутся регулярные маршрутные снегосъемки в окрестностях завода, которые позволили с достаточно высокой точностью восстановить поля загрязнения бенз(а)пиреном и провести оценки его суммарного выброса в зимнее время [1].

В статье проводится дальнейшее развитие работы [1] на данных маршрутных снегосъемок, выполненных в конце зимы 1999 г. в районе влияния завода. Кроме бенз(а)пирена в снеге определялись и другие ПАУ. Количественная интерпретация данных химических анализов выполнена на основе решений полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии с привлечением небольшого числа точек пробоотбора. Это позволило данные, полученные в остальных точках, использовать для контроля точности восстановления полей загрязнения для различных ПАУ. Оценка параметров моделей выявила в целом сходный характер изменения содержания ПАУ по мере удаления от источника выбросов.

Расположение зон максимального загрязнения и характер изменения концентрации с удалением от завода позволяют предположить, что в данном случае доля мелких частиц, содержащих ПАУ, относительно невелика. Основные поступления ПАУ в атмосферу связаны с крупными композитными частицами и обусловлены

спецификой протекающих технологических процессов. В связи с этим в ближней зоне [2,3] рассматривается кинематическая модель загрязнения местности ПАУ. На основе климатических данных о повторяемости скоростей ветра в зимнее время и восстановленных по данным наблюдений полей концентраций ПАУ в снеге проведены оценки средних скоростей их аэрозольного осаждения в атмосфере.

1. Экспериментальные исследования загрязнения снежного покрова

Размещение точек пробоотбора необходимо производить на основе предварительного анализа данных об источниках выброса ПАУ, условиях местности, системе дорог, размещении застройки и лесных насаждений, состоянии снежного покрова, климатических характеристиках повторяемости и скорости ветра в зимнее время и т.д.

Согласно [4] основной выброс ПАУ производится из двух близко расположенных труб обжигового цеха. Равнинный характер местности, отсутствие других значимых источников ПАУ в направлении преобладающих ветров с учетом вышесказанного позволяют выбрать в качестве основного метода исследования маршрутные снегосъемки [5,6].

На рис. 1 представлены положения точек на маршрутах, проложенных в северном и северо-восточном направлениях. Предварительный анализ данных наблюдений загрязнения почв ПАУ вблизи завода [4] с учетом [1,7] позволил провести оптимизацию размещения части точек пробоотбора (точки № 1, 3). Наличие двух маршрутов приводит к повышению контроля точности оценивания полей загрязнения снежного покрова. Сравнение восстановленных и измеренных концентраций позволит оценить дополнительные поступления ПАУ от пп. Евсино и Ургун в точки № 8 и 9 соответственно.

В табл. 1 представлены основные характеристики точек пробоотбора и данные химического анализа.

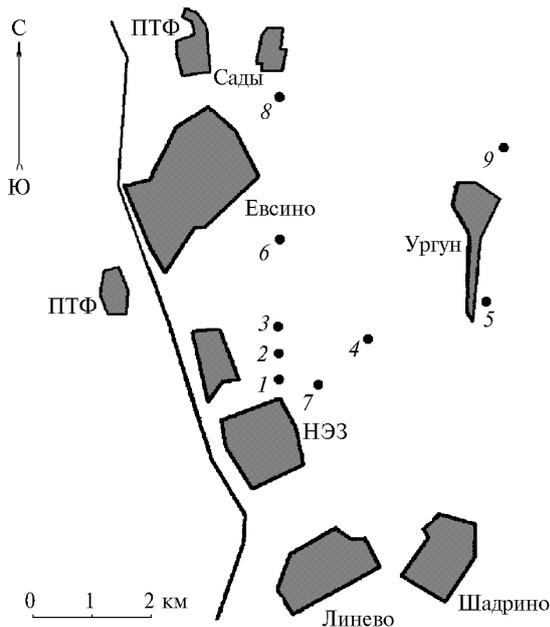


Рис. 1. Схема размещения на местности точек отбора проб снега

2. Восстановление загрязнения снега по данным наблюдений

Для количественного описания длительного выпадения ПАУ вдоль маршрутов от труб обжигowego цеха воспользуемся предложенной в работах [1,6] следующей регрессионной зависимостью:

$$p(r, \theta) = \theta_1 g(r, \theta_2) f(r), \quad (1)$$

где $p(r, \theta)$ – удельное содержание аэрозольной примеси в снеге; r – расстояние от источника выброса; $\theta = (\theta_1, \theta_2)$ – вектор неизвестных параметров;

$$g(r, \theta_2) = r^{-\theta_2}; \quad \theta_2 > 0;$$

$$f(r) = \frac{1}{r^2} e^{-2r_{\max}/r}, \quad (2)$$

где r_{\max} – расстояние от источника, на котором достигается максимальная приземная концентрация для невесомой примеси, выброшенной из этого источника.

Величина r_{\max} определяется геометрическими характеристиками источника (высота, диаметр трубы), параметрами выбрасываемой газовой смеси, среднезимней скоростью ветра и температурой воздуха. В данном случае $r_{\max} \approx 3$ км.

Функция $f(r)$ описывает относительное распределение приземной концентрации в случае невесомой примеси. Функция $g(r, \theta_2)$ корректирует учет процессов оседания тяжелой примеси. Параметр θ_1 пропорционален мощности выброса и достаточно сложным образом зависит от климатических характеристик: ветра, коэффициентов турбулентного обмена, скоростей оседания аэрозольной примеси [1]. Параметр θ_2 также является составным:

$$\theta_2 = \frac{w}{k_1(n+1)}, \quad (3)$$

где w – скорость седиментации аэрозольных частиц; k_1 – коэффициент вертикального турбулентного обмена; n – показатель степени в аппроксимации горизонтальной компоненты скорости ветра степенным профилем.

Т а б л и ц а 1

Концентрация ПАУ (мкг/л) в районе Новосибирского электродного завода (числитель – измерение, знаменатель – расчет)

ПАУ	Номера точек					Оценки параметров	
	1*	2	3*	4	5	$\theta_1 \cdot 10^{-3}$	θ_2
Флуорен	339	272	267	121	7,1	188	3,84
	339	421	267	142	10,4		
Пирен	451	322	254	145	9,0	221	4,28
	451	449	254	121	6,5		
Бенз(а)антрацен	2427	1850	1610	865	61	1268	4,04
	2427	2712	1610	824	52,3		
Перилен	1571	1139	1165	605	41,80	854	3,92
	1571	118	1165	607	41,84		
Бенз(а)флуорантен	454	311	173	117	10,3	194	4,76
	454	353	173	74	2,8		
Бенз(а)пирен	27,8	18,4	16,4	6,9	0,40	13,9	4,2
	27,8	28,7	16,4	8,03	0,46		
Расстояние, км	0,75	1,25	1,65	2,4	4,2		
Направление	С	С	С	СВ	СВ		

П р и м е ч а н и е . Звездочками помечены точки, использованные для оценки параметров регрессии (1).

Различия в концентрациях легкой и тяжелой примеси в основном обуславливаются безразмерным параметром θ_2 [8].

Для оценки параметров регрессии (1) необходимо использовать наблюдения в двух точках местности. Их оптимальное размещение можно получить при использовании результатов работы [9] и в данном случае представляется в виде

$$r_{1,2}(\theta_2) = \frac{2r_{\max}}{\theta_2 + 2} \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{5 + 2\theta_2}} \right). \quad (4)$$

Поскольку положение точек оптимального плана (4) зависит от θ_2 , то необходимо получить априорную ин-

формацию об этом параметре либо провести предварительные наблюдения для его оценки и последующего уточнения [9].

В работе [1] по данным наблюдений содержания бенз(а)пирена в почве получена оценка $\theta_2 \approx 4$. В этом случае согласно (4) точки r_1 и r_2 оптимального плана должны быть удалены от труб примерно на 0,8 и 1,3 км соответственно.

Оценки параметров θ_1 и θ_2 для различных компонентов ПАУ содержатся в табл. 1. В табл. 1 и на рис. 2 приведены восстановленные концентрации ПАУ в снеге по двум точкам наблюдений, которые помечены темными кружками. Оставшиеся точки могут быть использованы для контроля точности оценивания.

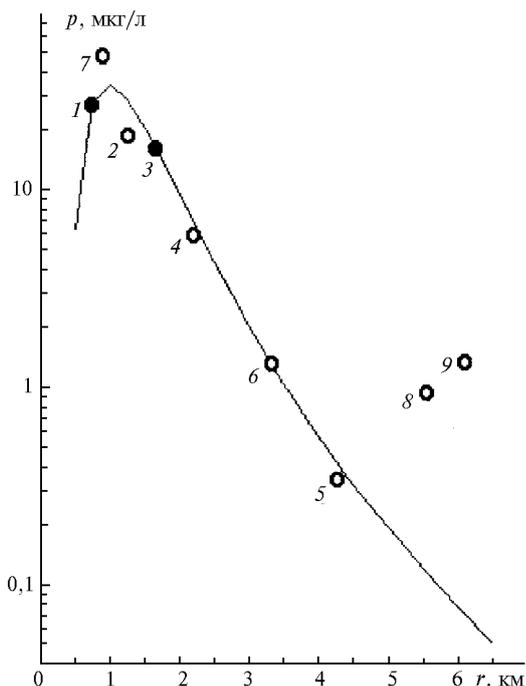


Рис. 2. Удельная концентрация бенз(а)пирена (мкг/л): кривая – результат восстановления; темные кружки – опорные точки, светлые – контрольные

Расхождения вычисленных и измеренных концентраций ПАУ в точках № 8 и 9 указывают на значительный вклад отопительных систем пп. Евсино и Ургун, использующих местные угли с высоким содержанием ПАУ.

3. Оценивание скоростей аэрозольных выпадений ПАУ

Контрастность изменения концентрации ПАУ в снегу по мере удаления от источника, очень близкое расположение максимума приземной концентрации позволяют сделать вывод о высоких скоростях осаждения ПАУ, содержащихся в крупных аэрозольных частицах. При таких скоростях вертикальный турбулентный обмен играет небольшую роль в переносе ПАУ на поверхность земли [2, 3], а механизмы кинематического распределения являются преобладающими. В этом случае концентрация ПАУ с удалением от источника будет определяться в основном климатической изменчивостью скорости ветра в зимнее время.

В табл. 2 приведены данные климатического распределения повторяемости для Новосибирска скоростей

ветра в холодное время на высоте 200 м для пяти градаций скорости, охватывающих 99,6% всех случаев [10]. Для каждой градации скорости u_i , $i = 1, \dots, 5$, скорость гравитационного оседания w_i аэрозольных частиц определяется из соотношений

$$w_i = \frac{(H + \Delta H_i) u_{i, \text{ср}}}{r_i}, \quad i = 1, \dots, 5, \quad (5)$$

где H – высота труб, которая в данном случае равна 180 м; ΔH_i – дополнительная высота подъема аэрозольной примеси, связанная с плавучестью факела и динамическими эффектами [8]; $u_{i, \text{ср}}$ – средняя скорость ветра в слое оседания частиц ПАУ; r_i – расстояние от источника, в пределах которого происходит выпадение частиц ПАУ для i -й градации.

Таблица 2

Характеристики выпадений бенз(а)пирена (БП) для пяти градаций скорости ветра

Градация скорости ветра, м/с	Повторяемость, %	Скорость седиментации, см/с	$u_{\text{ср}}$, м/с	Максимальное расстояние выноса БП, м
0–4,5	18,2	85	3,5	825
0–9,5	58	98	7,4	1350
0–14,5	86,6	96	11,2	2100
0–19,5	97,5	85	15,1	3200
0–24,5	99,6	84	19	4050

На основе регрессионной зависимости (1) и данных табл. 1 r_i определяются из следующих уравнений:

$$\Phi(r_i)/\Phi(R) = \lambda_i, \quad i = 1, \dots, 5, \quad (6)$$

где

$$\Phi(r) = \int_0^r p(s, \theta) ds;$$

R – расстояние от источника, в пределах которого происходит полное выпадение аэрозольных выбросов БП; λ_i – повторяемость в долях единицы i -й градации скорости ветра.

Соотношения (6) устанавливают связь между относительной массой выпадений аэрозоля до расстояний r_i от источника выброса БП и повторяемостью i -й градации скорости ветра.

Представленные в табл. 2 оценки w_i ($i = 1, \dots, 5$) оказались близки между собой, что подтверждает правомочность использования кинематического описания процессов выпадений ПАУ.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования в районе Новосибирского электродного завода и численная интерпретация полученных данных позволяют сделать следующие выводы:

- основное загрязнение ПАУ окрестностей НЭЗ осуществляется высотными трубами обжигового цеха;
- на двухточечных планах наблюдений, близких к оптимальным, определены функции распределения удельных концентраций ПАУ и проведен контроль точности их оценивания;
- кривые распределения концентраций для большинства исследуемых ПАУ подобны друг другу, что указывает

на композитность состава аэрозольных выпадений и связано в первую очередь с особенностями протекающих технологических процессов.

Получена оценка скорости выпадений основной массы ПАУ и подтверждена возможность построения кинематической модели рассеяния ПАУ в окрестностях завода.

1. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е. Реконструкция выпадений бенз(а)пирена в окрестностях Новосибирского электродного завода // *Метеорология и гидрология*. 1997. N 2. С. 33–41.
2. Бызова Н.Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы. М.: Гидрометеоздат, 1974. 191 с.
3. Петрова Г.М., Мирошкина А.Н. Закономерности рассеяния аэрозольных частиц в свободной атмосфере // *Труды ИПГ*. 1967. Вып. 4. С. 5–40.
4. Состояние окружающей природной среды в Новосибирской области в 1993 году: Доклад Новосибирского областного комитета экологии и природных ресурсов / Под ред. А.И. Петрика, Ю.Р. Широкова. Новосибирск, 1994. 112 с.
5. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 182 с.
6. Рапута В.Ф., Садовский А.П., Олькин С.Е. и др. Экспериментальное и теоретическое исследование выбросов ПАУ угольными котельными и электростанциями // *Оптика атмосферы и океана*. 1999. Т. 12. N 6. С. 540–543.
7. Крылова А.И., Рапута В.Ф., Суторихин И.А. // *Метеорология и гидрология*. 1993. N 5. С. 5–13.
8. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 448 с.
9. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1971. 312 с.
10. *Климат Новосибирска*. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 222 с.

V.F. Raputa, A.P. Sadovskii, S.E. Olkin, I.K. Reznikova. Study of aerosol precipitation rates of polycyclic aromatic carbohydrates in the vicinity of Novosibirsk electrode producing plant.

Determination of specific PAC rates in the snow cover with a limited number of observation sites was carried out on the basis of snow sampling routes in the vicinity of the plant. Comparison of calculation results with the observation data at the control sites showed quite a satisfactory agreement. A model of kinematic contamination of the locality was proposed using the data on climatic recurrence of wind speed in winter. It was used to evaluate the PAC falling rates.