

УДК 504.054(21):628.5

## Об аэрозольном загрязнении поверхностного стока на урбанизированных территориях

В. М. Хват, В. М. Московкин, О. П. Роненко, М. Б. Мануйлов

*Приведены результаты двух натуральных экспериментов по оценке интенсивности накопления осадимых аэрозолей, их потоков за годовой период для условий Харькова. Изучен дисперсный и химический состав осадимых аэрозолей с использованием оптико-электронной системы и атомно-абсорбционного спектрофотометра, рассчитаны потоки тяжелых металлов, определено их содержание в аэрозолях. Проведенные исследования позволили установить особенности формирования аэрозольной составляющей твердой фазы поверхностного стока с городских территорий.*

Для изучения формирования аэрозольной составляющей поверхностного стока на урбанизированных территориях необходимо обладать данными по интенсивности накопления аэрозолей на поверхности (потоку осадимых аэрозолей), их дисперсному и химическому составу.

С этой целью было проведено два натуральных эксперимента. В первом, проведенном в период с сентября 1987 г. по март 1988 г. (194 сут) на четырех метеокиосках Харькова, выставились сосуды по улавливанию аэрозолей. Одновременно по данным регионального ГМЦ (протяжка воздуха через АФА-фильтры) вычислялась средняя концентрация пыли в воздухе за период экспозиции аэрозольных сосудов, которая использовалась при оценке связи с потоком осадимых аэрозолей [3],

$$P = k\rho C_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где  $P$  — поток осадимых аэрозолей,  $г/(м^2 \cdot \text{сут})$ ;

$\rho$  — плотность аэрозольных частиц,  $г/см^3$ ;

$C_{\text{ср}}$  — средняя концентрация пыли за период экспозиции сосудов,  $мг/м^3$ ;

$k$  — полуэмпирический региональный коэффициент потока аэрозолей, получаемый при обработке данных по спектрам (распределениям частиц по размерам) осадимых аэрозолей.

Для условий холодного периода в работе [3] было получено  $k=2,67$  (Харьков). Соответствующий поток по формуле (1) при  $\rho=2 г/см^3$  равен  $0,0935 г/(м^2 \cdot \text{сут})$ . Средняя концентрация пыли за период экспозиции в первом опыте составляла  $0,0175 мг/м^3$ , а средний измеренный поток осадимых аэрозолей равен  $0,1203 г/(м^2 \cdot \text{сут})$ . Отмечается хорошее совпадение измеренных и рассчитанных потоков. В связи с тем, что  $P_{\text{изм}}/C_{\text{ср}} = 0,1203/0,0175 = 6,874$ , наиболее близкая зависимость между  $P$  и  $C_{\text{ср}}$  будет наблюдаться при  $k\rho = 6,874$  в формуле (1).

Во втором опыте (апрель — ноябрь 1988 г.) выставились цилиндрические аэрозольные сосуды на десяти метеокиосках Харькова. Изучались накопление аэрозолей, их качественный и дисперсный состав. Данные по потокам аэрозолей и сорбированных на них тяжелых металлов приведены в таблице. Определение тяжелых металлов в подготовленных пробах аэрозолей проводилось методом атомно-абсорбционного

анализа, содержание тяжелых металлов в аэрозолях приведено в таблице.

Предварительный анализ показал, что чем больше поток осадимых аэрозолей, тем меньше содержание в них тяжелых металлов. Среди работ по загрязненности аэрозолей тяжелыми металлами в качестве новых исследований в этом направлении отметим [5, 6], результаты которых согласуются с приведенными в данной работе. Сравнивая содержание тяжелых металлов в аэрозолях с данными по загрязненности дорожного смета Харькова [4], можно заключить, что химический состав смета в основном формируется за счет аэрозольной составляющей промышленного и автотранспортного происхождения.

При сравнении результатов опытов отмечается большей поток аэрозолей в теплый период года, что связано с большей запыленностью воздуха. Сопоставление данных натуральных измерений по потокам осадимых аэрозолей и концентрациям пыли в воздухе показало, что по сравнению с холодным сезоном года в теплый период наблюдается большая варьированность соотношения  $P/C_{\text{ср}}$  в среднем его значение равно  $3,92$ . Учитывая, что данные двух опытов охватывают непрерывный годовой период наблюдений, получим среднее значение  $k\rho = P/C_{\text{ср}} = (6,874 + 3,92)/2 = 5,40$ . Таким образом, для ориентировочных оценок среднего потока осадимых аэрозолей за годовой период осреднения концентрации пыли в воздухе в условиях городской застройки можно использовать зависимость  $P = 5,40 C_{\text{ср}}$ .

Суточный коэффициент потока частиц рассчитывался по формуле [3]

$$k = 86,4 \sum_{i=1}^n A_i d_i^3 V(d_i) / \sum_{i=1}^n A_i d_i^3, \quad (2)$$

где  $A_i$  — относительное количество частиц размером  $d_i$  (дисперсный состав аэрозолей изучался на оптико-электронной системе PIMS [3]);

$V(d_i)$  — скорость гравитационного осаждения частиц в зависимости от их размера для единичной плотности ( $\rho = 1 г/см^3$ ) [2]. Согласно работе [2] в эти значения скоростей для теплого периода нами вводилась поправка  $0,01 м/с$ . Наличие в спектре небольшого процента крупных частиц резко увеличивает суточный коэффициент потока  $k$ . Если допус-

**Потоки осадимых аэрозолей, тяжелых металлов и содержание тяжелых металлов в аэрозолях для условий Харькова**

| Показатели    | Поток тяжелых металлов, $\mu\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ (числитель) и содержание тяжелых металлов в аэрозолях, $\mu\text{кг}/\text{г}$ (знаменатель) |       |       |       |       |       |        | Поток осадимых аэрозолей, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ |
|---------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|
|               | Cd  | Ni    | Cr    | Cu    | Mn    | Pb    | Zn     |  |
| Максимальный  | 12,3  | 117,5 | 190,2 | 268,6 | 660,2 | 268,5 | 1063,0 | 2,238  |
|               | 5,5   | 52,5  | 85,0  | 120,0 | 295,0 | 120,0 | 475,0  |  |
| Минимальный   | 3,5   | 8,2   | 40,0  | 70,0  | 59,9  | 50,0  | 253,8  | 0,235  |
|               | 15,0  | 35,0  | 170,0 | 298,0 | 255,0 | 230,0 | 1080,0 |  |
| Средний       | 2,8   | 35,4  | 63,8  | 113,6 | 267,1 | 111,3 | 488,4  | 0,760  |
|               | 4,3   | 46,0  | 93,0  | 177,0 | 352,0 | 167,0 | 782,0  |  |
| Кларк в почве | 0,2   | 40,0  | 200,0 | 20,0  | 850,0 | 10,0  | 50,0   |  |

тить, что попадание нескольких крупных частиц в спектры носит случайный характер, то следует ориентироваться на  $k = 2,94 \dots 4,7$ . Среднее его значение, равное 3,70, совпадает с полученным ранее для одного из районов Харькова [3].

Дисперсный анализ показал, что аэрозольные частицы состоят в основном из частиц размером не более 40—50  $\mu\text{м}$ , причем максимальный их размер не превышает 100  $\mu\text{м}$ , что соответствует общепринятому взгляду на размеры аэрозолей [5]. Учитывая тот факт, что качественный состав поверхностного стока формируется за счет мелкодисперсных частиц размером не более 100  $\mu\text{м}$  (причем основная их доля приходится на частицы не более 40—50  $\mu\text{м}$ ) [1], можно сделать вывод, что значительная доля аэрозольных частиц участвует в формировании химического состава поверхностного стока. Анализ характерных спектров твердой фазы поверхностного стока (фракция от 0,2 до 40  $\mu\text{м}$ ) подтвердил этот вывод [4], следовательно, рассмотренная мелкодисперсная твердая фаза стока в основном сформирована за счет аэрозольной составляющей [7]. Отм'тим, что, по данным работы [8], доля химических элементов аэрозольного происхождения в поверхностном стоке, отводимом с урбанизированной территории, составляет 35—54% для Mn, Zn, Pb и 96% для Cu.

**Литература**

1. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. — М., ВНИИВОДГЕО, ВНИИВО, 1983.
2. Газиев Я. И., Соснова А. К. Физико-математическое моделирование процесса аэрозольного загрязнения почв промышленными выбросами в атмосферу и продуктами их физико-химических превращений. — Труды ИЭМ, 1987, вып. 14 (129).
3. Кондратьев К. Я., Хват В. М., Москворкин В. М., Мануйлов М. Б. О дисперсном составе атмосферных аэрозолей и расчете их осаждения. — Доклады АН СССР, 1988, т. 303, № 3.
4. Отчет ВНИИВО «Разработать и

Дополнительно нами в августе 1988 г. были проведены исследования по изучению дисперсного состава аэрозолей на территориях Усть-Илимского ЛПК и Байкальского ЦБК. В отличие от аэрозольных спектров Харькова полученные спектры являются грубодисперсными (доминируют частицы размером от 25 до 65  $\mu\text{м}$ ) и характеризуют промышленные выбросы целлюлозно-бумажных производств. По сравнению с полученным ранее полуэмпирическим региональным коэффициентом для условий Харькова ( $k = 3,70$ ) имеем расчетный коэффициент для условий крупных целлюлозно-бумажных производств  $k = 13,94$  (полученный по формуле (2)). Для количественной оценки потоков осадимых аэрозолей использованы данные по концентрации пыли в воздухе для Усть-Илимска и Байкальска (среднегодовые концентрации пыли варьируют в пределах 0,20—0,37  $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Тогда при  $k = 13,94$  и  $\rho = 1,5 \text{ г}/\text{см}^3$  получим следующий диапазон потоков осадимых аэрозолей:  $P = 4,2 \dots 7,7 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , что на порядок превышает величины потока осадимых аэрозолей для условий Харькова.

Предложенная в работе методика определения потоков осадимых аэрозолей может быть использована для оценки влияния атмосферной составляющей на формирование количественного и качественного состава поверхностного стока.

- внедрить технологический процесс регулирования отведения и очистки поверхностного стока с застроенных территорий», № гос. регистрации 01.870084. — Харьков, 1988.
5. Свинец в окружающей среде / Под ред. В. В. Добровольского. — М., Наука, 1987.
6. Сисичина Т. И., Фрыгин В. Ф. Загрязнение приземного слоя воздуха аэрозолями металлов в окрестностях предприятий цветной металлургии. — Труды ИПГ, 1988, вып. 72.
7. Хват В. М. Анализ антропогенного воздействия на формирование поверхностного стока городов. — Сб. науч. трудов ВНИИВО. Харьков, 1988.
8. Manse G., Harman M. The quality of urban stormwater runoff. — Urban Storm Drainage Int. Conf., Southampton, 1978.