

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ГЕОГРАФИЯ И ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

№ 4

(Отдельный оттиск)

НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1989

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.39

В. М. ХВАТ, В. М. МОСКОВКИН

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Накапливающиеся в результате антропогенной деятельности на водонепроницаемых участках урбанизированных территорий твердые частицы (смет) являются существенным источником загрязнения окружающей среды. Особенно большую опасность представляют тонкодиспергированные фракции смета (частицы размером менее 100 мк) — осевшие из воздуха аэрозоли, сажа, тонкие фракции продуктов эрозии почв, износа дорожных покрытий и автомобильных шин. Так, на долю частиц размером менее 46 мкм, составляющих около 6 % объема смета, приходится 24,3 % содержащихся в этом смете биохимически окисляемых органических примесей, 56,2 % фосфатов, до 50 % тяжелых металлов [1].

Под действием ветра, при смыве стоком дождевых вод тонкодиспергированные частицы смета перемещаются на большие расстояния и служат источником вторичного загрязнения приземных слоев воздуха, почвы, расположенных на урбанизированных ландшафтах водных объектов. Об этом свидетельствуют приводимые в литературе сведения о высокой загрязненности стока дождевых вод, особенно тонкодиспергированными взвешенными веществами [2], повышенной загрязненности воздуха вдоль дорог [3], значительных концентрациях свинца и других тяжелых металлов в почвах вдоль дорог [4].

Одним из перспективных путей улучшения в целом экологической обстановки в городах представляется нормирование накопления тонкодиспергированных твердых частиц на городской территории при исключении отрицательных последствий этого процесса для всех элементов окружающей среды. В этом отношении представляет интерес количественная оценка процессов накопления твердых частиц на урбанизированных территориях и формирования твердой фазы поверхностного стока.

Для количественной оценки загрязняющей нагрузки на урбанизированные территории и формирующегося на них поверхностного стока необходимо обладать теоретическим аппаратом. В качестве такого аппарата нами предлагается уравнение баланса (накопления) загрязняющих веществ на твердых покрытиях. Рассматривается мелкодисперсная фракция этих веществ (до 100 мк), принимающая участие в формировании твердой фазы поверхностного стока [2]. Расчеты выполняются для периодов сухой погоды на некоторой заранее заданной однородной поверхности с определенным типом использования и площадью F в пределах некоторого городского района с площадью $\bar{F} > F$. Нами предложено уравнение баланса

$$dM/dt = (I_1 + \delta I_2 + I_3)F - K_{\gamma} \lambda_1 M - K_{\pi} \lambda_2 M, \quad (1)$$

где M — нагрузка на всей площади F (m^2) по загрязняющим веществам мелкодисперсной фракции, г; t — время, сут; I_1 — интенсивность аэрозольного осадения на поверхность, г/($m^2 \cdot$ сут); I_2 — интенсивность износа покрытия, г/($m^2 \cdot$ сут); δ — доля мелкодисперсной фракции поступле-

ния при износе покрытия (в долях единицы); I_3 — интенсивность износа автомобильных шин, г/(м²·сут); K_y — коэффициент эффективности механизированной уборки территории по мелкодисперсной фракции веществ, сут⁻¹; $\lambda_1 = F_y/F$ — доля убираемой территории; F_y — площадь убираемой территории, м²; K_n — коэффициент потерь мелкодисперсной части веществ, обусловленный процессами диффузионного рассеивания и уплотнения, сут⁻¹; $\lambda_2 = F_{п.р}/\bar{F}$ — доля проницаемых покрытий ($F_{п.р}$, м²), в пределах городского района площади \bar{F} (м²), служащих своеобразным «фильтром» при улавливании мелких подвижных частиц аэрозольного и наземного происхождения.

При получении уравнения (1) предполагалось, что аэрозольное осаждение и износ шин дают вклад только в рассматриваемую мелкодисперсную часть нагрузки. Нагрузка эрозийного характера (смыв с проницаемых покрытий) не учитывается, так как уравнение предназначено для периодов непрерывного накопления при сухой погоде, причем дискретный характер эрозийной нагрузки поддается эффективному контролю при правильном благоустройстве и планировке городской территории (следует отметить, что эта нагрузка в настоящее время в большинстве городов вносит максимальный вклад в их загрязненность).

Решение уравнения (1) дает следующий стационарный (максимальный) уровень нагрузки

$$M_{ст} = (I_1 + \delta I_2 + I_3)F/K_y\lambda_1 + K_n\lambda_2. \quad (2)$$

Наличие такого стационарного уровня и быстрого его достижения подтверждается литературными данными [1, 5] и материалами наших натурных исследований по накоплению смета на дорожных покрытиях.

Для оценки параметра I_1 нами для условий г. Харькова получена полуэмпирическая формула

$$I_1 = 2,6 \rho C, \quad (3)$$

где ρ — плотность частиц пыли, г/см³, C — приземная концентрация пыли в воздухе, мг/м³; I_1 — в г/(м²·сут); коэффициент 2,6 получен на основе табличных гравитационных скоростей осаждения частиц разных размеров с помощью обработки данных по распределению частиц по размерам.

Аналогичные зависимости можно получить и для других регионов. Могут использоваться данные прямых натурных измерений. Для оценки параметра I_2 можно применить формулу для расчета износа дорожных покрытий в зависимости от грузонапряженности дорог [6] с дополнительным учетом ширины наката; для оценки параметра I_3 — стандартные данные по износу шин в миллиметрах на 1000 км пробега [7].

Нами получены следующие реальные интервалы изменения этих параметров: $0,52 \leq I_1 \leq 4,68$ г/(м²·сут), $\rho = 2$ г/см³ (границы интервалов соответствуют минимальным и максимальным значениям среднесуточной концентрации пыли — $0,1 \leq C \leq 0,9$ мг/м³ — в приземном слое воздуха в городах страны; в соответствии с санитарными нормами предельно допустимая величина этого показателя 0,15 мг/м³ [8]; $5 \leq I_2 \leq 12,5$ г/(м²·сут) (при варьировании грузонапряженности в интервале от 2 до 10 млн т брутто в год [6]; $I_2 = 3$ г/(м²·сут) (при отсутствии грузопотока); $0,02 \leq I_3 \leq 0,05$ г/(м²·сут) (для износа легковых шин); $0,3 \leq I_3 \leq 0,8$ г/(м²·сут) (для износа грузовых шин). При оценке I_3 учитывалась интенсивность движения, соответствующая указанному интервалу грузонапряженности: 1400 ÷ 5000 авт/сут при ширине дороги с двухполосным движением 7,5 м (износ легковой шины принимался 0,1 мм на 1000 км пробега).

Изменения остальных параметров в первом приближении с учетом литературных и наших данных можно принять следующими: $0,1 \leq \delta \leq 0,3$; $0 \leq \lambda_1 \leq 1$; $0,2 \leq K_y \leq 0,8$ сут⁻¹; $0,2 \leq K_n\lambda_2 \leq 0,5$ сут⁻¹. Следует отметить, что при натурных исследованиях процесса потерь смета определяется непосредственно показатель $K_n\lambda_2$.

В дальнейших оценочных расчетах удобно пользоваться характерным временем выхода процесса накопления веществ с нулевого уровня

нагрузки на стационарный, которое при 10 %-й близости к этому уровню равняется

$$t_{ст} = 2,3/K_y\lambda_1 + K_n\lambda_2. \quad (4)$$

При варьировании значений параметров этой формулы в указанных пределах получим следующий интервал изменения характерного времени: $2 \leq t_{ст} \leq 12$ сут. Для наиболее характерных средних условий это время составляет $2,5 \leq t_{ст} \leq 7$ сут, что в целом согласуется с данными наших натурных исследований для условий г. Харькова.

Теперь следует оценить концентрацию веществ в поверхностном стоке. За расчетный прием дождь со слоем стока 12 мм, который согласно данным [9] смывает 90 % загрязняющей нагрузки. Объем стока, формирующегося от такого дождя на поверхности с площадью F , составит $W = 10^{-3} \cdot 12 F$, м³. Тогда искомая концентрация определится из выражения

$$C = 75(I_1 + \delta I_2 + I_3)/(K_y\lambda_1 + K_n\lambda_2) = 32,6t_{ст}(I_1 + \delta I_2 + I_3), \quad (5)$$

где $t_{ст}$ определяется по формуле (4), C — имеет размерность г/м³ (мг/л). С учетом некоторой критической концентрации взвешенных веществ в поверхностном стоке $C = C_{кр}$ по формуле (5) определяется предельно допустимая удельная ежесуточная нагрузка на рассматриваемую территорию

$$I_{кр} = (I_1 + \delta I_2 + I_3)_{кр} = C_{кр}/32,6t_{ст}. \quad (6)$$

Если фактическое значение I больше $I_{кр}$, требуется решить вопрос снятия части той или иной водосборной удельной ежесуточной нагрузки (I_1, I_2, I_3). Если существующий природоохранный и технологический уровень не позволяет уменьшить общую нагрузку до предельно допустимого уровня, необходимо создание сооружений по очистке поверхностного стока.

В границах большой городской неоднородной территории возникает некоторая оптимизационная задача с поиском альтернативных путей снятия нагрузок (минимизация природоохранных затрат при достижении заданного качества поверхностного стока в створе водопользования).

Целесообразно рассмотреть несколько примеров использования критерия (6). Например, нужно, чтобы концентрация веществ в городских автомагистралях не превышала $C_{кр} = 100$ мг/л, тогда согласно выражению (6) $3,07 = I_{кр} \cdot t_{ст}$. При заданном $t_{ст}$ (например, $t_{ст} = 6$ сут) этот уровень концентрации будет поддерживаться при $I_{кр} = 0,51$ г/(м²·сут). В то же время можно поддерживать большую удельную ежесуточную нагрузку при эффективной уборке территории. Так, при характерной величине $K_n\lambda_2 = 0,3$ сут⁻¹, $\lambda_1 = 1$ (вся рассматриваемая территория убирается), $K_y = 0,6$ сут⁻¹ (ежесуточная эффективность уборки — 60 %), $t_{ст}$ составит 2,5 сут, при этом $I_{кр} = 1,23$ г/(м²·сут), что более чем в 2 раза больше предыдущей величины.

Таким образом, здесь возникает задача, каким путем снижать фактическую суммарную удельную ежесуточную нагрузку — за счет снижения ее составляющих или более эффективной механизированной уборки. Легко видеть, что критическое значение $I_{кр} = 0,51$ г/(м²·сут) ($t_{ст} = 6$) поддерживать для автодорог не представляется возможным, поэтому необходимы дополнительные меры по увеличению износостойкости покрытий. Альтернативный путь, связанный с организацией наиболее эффективной уборки, позволяет, как уже было отмечено, повысить критический уровень I более чем в 2 раза, что позволит поддерживать достаточно большую грузонапряженность автодорог ($I_2 \approx 12$ г/(м²·сут)).

Рассмотрим пример аэрозольной нагрузки на крыши зданий, когда $I_2 \approx 0$ (вкладом в суммарную удельную ежесуточную нагрузку за счет износа поверхности крыши можно пренебречь), $I_3 = 0$, $K_y = 0$. Ввиду ин-

Вариант ранжирования территории по степени загрязненности

Концентрация взвешенных веществ в стоке, мг/л	Удельная нагрузка мелкодисперсных частиц, г/м ²	Качественная характеристика загрязненности
<200	<2,7	Минимально загрязненные
200—400	2,7—5,3	Слабозагрязненные
400—600	5,3—8,0	Среднезагрязненные
600—800	8,0—10,7	Сильнозагрязненные
800—1000	10,7—13,3	Очень сильнозагрязненные
>1000	>13,3	Максимально загрязненные

тенсивного ветрового режима на уровне крыши небольшой их шероховатости потери веществ с них следует взять максимальные: $K_{п\lambda_2} = 0,5 \text{ сут}^{-1}$, $t_{ст} = 2,3/K_{п\lambda_2} = 4,6 \text{ сут}$. В этом случае для отвода стока с крыш для технического водоснабжения ($C_{кр} = 100 \text{ мг/л}$ — для «грязных» циклов производства) получим $I_{кр} = 100/32,6 \cdot 4,6 = 0,66 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{сут)}$. Эта величина лежит в интервале реальных аэрозольных нагрузок. Для относительно малозапыленных городских территорий с многоэтажной застройкой это критическое значение не будет превышено. Следует отметить, что для $\rho = 2 \text{ г/см}^3$ и ПДК пыли в воздухе $0,15 \text{ мг/м}^3$ вычисленная по формуле (3) величина несколько превысит критический уровень $I_1 = 0,78 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{сут)}$.

Зависимость (6) может также лежать в основе одного из вариантов ранжирования урбанизированных территорий по степени загрязненности. Действительно, каждому заданному уравнению по концентрации взвешенных веществ в поверхностном стоке соответствует свой уровень удельной нагрузки — $C_i = 75 \bar{M}_{сти}$, где $\bar{M}_{сти} = M_{сти}/F$.

Тогда, принимая градации C_i (см. таблицу), получим соответствующие градации по $M_{сти}$.

Дальнейшие исследования в направлении изложенных в статье методов и подходов должно идти по пути организации экспериментальных и натурных исследований с целью уточнения рассмотренных в ней параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sartor I. D., Boyd G. B., Agardy F. J. Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants // J. Water Pollut. Control Fed.,— 1974.— Vol. 46, N 3.
2. Хват В. М. Регламентация выпуска поверхностного стока с городской территории в водные объекты // Охрана вод от загрязнения поверхностным стоком.— Харьков: ВНИИВО, 1983.
3. Александровская З. И., Букреев Е. Н., Медведев Я. В. и др. Благоустройство города.— М.: Стройиздат, 1984.
4. Никифорова Е. М. Свинец в ландшафтах природных экосистем // Техногенные потоки веществ в ландшафтах и состояние экосистем.— М.: Наука, 1981.
5. Sullivan R. H., Manning M. J. Impact and Control of Urban Stormwater Runoff // Proc. of the Conference on Nonpoint Sources of Water Pollution: Problems, Policies and Prospects. Stewart Center Purdue University, Ann-Arbor,— 1976, September 13—14.
6. Сиденко В. М., Михович С. И. Эксплуатация автомобильных дорог.— М.: Транспорт, 1978.
7. Работа автомобильной шины/Под ред. В. И. Кнороза.— М.: Транспорт, 1976.
8. Беспамятов Г. П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде.— Л.: Химия, 1985.
9. METCAFF & EDDY, Inc. Storm Water Management Model.— 1971.— Vol. 1—4, EPA.

*ВНИИ по охране вод,
Харьков*

*Поступила в редакцию
3 мая 1988 г.*