

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

5

---

МОСКВА · 1991

УДК 628.39

© 1991 г.

В. М. ХВАТ, В. М. МОСКОВКИН

### ОЧЕРЕДНОСТЬ ПРИРОДООХРАННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕР ПО СНЯТИЮ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ НАГРУЗОК НА ГОРОДСКИЕ ЛАНДШАФТЫ

С дальнейшей урбанизацией существенно возрастают антропогенные нагрузки, интенсивность накопления загрязняющих веществ, особенно твердых частиц, на урбанизированных ландшафтах. В статье анализируются основные источники поступления загрязняющих веществ (эрозия почвы, выбросы автотранспорта, продукты разрушения дорожных покрытий, аэрозольное осаждение и др.), предложенные расчетные зависимости для их количественной оценки, комплекс мероприятий по уменьшению выноса загрязняющих веществ; рекомендован дифференцированный подход к снятию антропогенных нагрузок на окружающую среду с учетом ранжирования источников загрязнения по их интенсивности и отдельных участков городской территории по загрязненности.

С дальнейшим расширением масштабов урбанизации, увеличением территории городских поселений возрастают антропогенные нагрузки на эти территории. Это показано представленным на рисунке графиком, отражающим прогнозируемое на ближайшее десятилетие увеличение в крупных городах плотности населения, удельных (в расчете на одного жителя) площадей твердых покрытий, протяженности автомагистралей, интенсивности движения автотранспорта.

Рост перечисленных показателей сопровождается увеличением интенсивности накопления в почве, на водонепроницаемых покрытиях продуктов антропогенной деятельности (твердых частиц органического и минерального происхождения, солей тяжелых металлов, нефтепродуктов, биогенных элементов), ухудшением качества водных объектов, куда эти вещества смываются поверхностным стоком при дождях или снеготаянии.

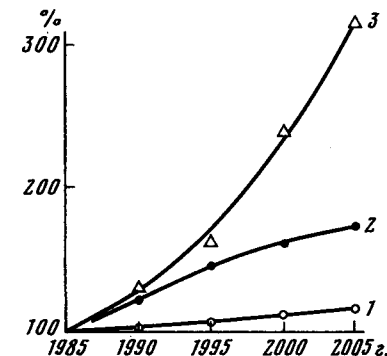
В этой связи для определения эффективных путей улучшения в целом экологической обстановки на урбанизированных ландшафтах, предотвращения загрязнения водных объектов необходима количественная оценка «вклада» различных источников загрязнения в общую антропогенную нагрузку, и прежде всего в накопление на поверхности твердых частиц, содержащих широкий спектр различных химических соединений.

При анализе основных источников загрязнения водонепроницаемых участков урбанизированных территорий нами выделены четыре составляющие: смыв почв с газонов, истирание дорожных покрытий, износ шин и аэрозольное осаждение. Для дальнейшего сравнительного анализа расчетные нагрузки от этих источников загрязнения будем приводить к 1 бордюроному метру дорог и улиц. Для оценки аэрозольного «вклада» необходимо знать суммарную длину бордюров на единице площади городской территории. Взяв за основу укрупненные характеристики городских территорий [1], можно рассчитать удельную плотность всех городских путей сообщений. В зависимости от численности населения городов она колеблется в среднем от 5 до 6 км/км<sup>2</sup>. Для примера возьмем ее на уровне 6 км/км<sup>2</sup> (небольшие города, с населением не более 100 тыс. чел.); удвоив ее, получим удельную плотность бордюров — 12 км/км<sup>2</sup>.

Приведем эту величину к метровой размерности:  $\frac{1}{83,3}$  м/м<sup>2</sup>. Таким образом, на 1 м бордюра имеем 83,3 м<sup>2</sup> городской территории.

Анализ типичной городской застройки показывает, что под озеленением (газоны) находится 40% территории. Таким образом, на 1 м бордюра при-

Рост в ближайшие десятилетия в крупных городах удельных (в расчете на одного жителя) площади твердых покрытий (кривая 1), протяженности магистралей (кривая 2) и интенсивности движения автомобильного транспорта (кривая 3), проценты по отношению к 1985 г.:



ходитя 33 м<sup>2</sup> проницаемых покрытий (газонов). Отнеся эту площадь условно к полосе, опирающейся на одномерный отрезок бордюра, получим расчетную длину прибордюрного склона, равную 33 м.

Для оценки смыва почвы с этого элементарного склона можно применить одну из известных расчетных методик (Ц. Е. Мирцхулавы, Г. И. Швевса, Г. П. Сурмача, И. А. Кузника, ГГИ, УУПП и т. д.). Ниже для оценочных расчетов будем использовать наиболее простую зависимость И. А. Кузника [2]

$$M = ChI, \tag{1}$$

где  $M$  — смыв почвы, микроны;  $I$  — уклон склона, промилли (‰);  $h$  — слой стока, мм;  $C$  — эмпирический эрозионный коэффициент (например, для южных обыкновенных черноземов Среднего Поволжья он равен 0,06). Для пересчета на годовой модуль смыва почв с 1 га получим формулу

$$M_{эр} = Ch_{год} I \gamma_n 10^{-2}, \tag{2}$$

где  $M_{эр}$  имеет размерность т/га · год;  $h_{год}$  — годовой слой стока, мм;  $\gamma_n$  — объемный вес почвы в верхнем смываемом слое, т/м<sup>3</sup>.

Возьмем следующие реальные диапазоны изменения численных параметров, входящих в эту формулу:  $C = 0,05 \div 0,5$ ;  $h_{год} = 35 \div 75$  мм;  $I = 5 \div 15\%$ ;  $\gamma_n = 1 \div 1,5$  т/м<sup>3</sup>. Тогда получим следующий диапазон модулей смыва:  $M_{эр} = 0,1 \div 7$  т/га за теплый период года.

В пересчете на наш элементарный прибордюрный склон площадью 33 м<sup>2</sup> получим  $M_{эр} = 0,33 \div 23,3$  кг/м за теплый период года. Продолжительность теплового периода года в среднем для ЕТС — 220 дней. Пересчитав эту величину на условную среднесуточную нагрузку, получим  $M_{эр} = 1,43 \div 101,3$  г/т · сут. Как и следовало ожидать, разброс величины эрозионной нагрузки достаточно большой. Этот же диапазон от ливней с суточным слоем стока от 2 до 10 мм составит  $M_{эр} = 18,8 \div 3106$  г/м · сут.

Перейдем теперь к оценке истираемости дорожных покрытий в результате автотранспортного движения. Годовой износ дорожных покрытий определяется по формуле [3]

$$H_{изн} = a_{изн} + b_{изн} Q, \tag{3}$$

где  $H_{изн}$  — годовой износ, мм;  $Q$  — годовая грузонапряженность автомобильного движения, т. е. суммарная масса (брутто) пропускаемых по дороге автомобилей за год, млн. т. Коэффициент  $a_{изн}$  зависит от погодостойчивости, типа покрытий и климатических условий; коэффициент  $b_{изн}$  зависит от состава и скорости движения, типа покрытия и степени его увлажненности. Эти коэффициенты вместе с данными по грузонапряженности могут браться согласно работе [3]. Теперь можно оценить вклад износа дорожных покрытий в общее накопление смета. Расчеты будем проводить для 10-метровой ширины дороги ( $B = 10$  м). Тогда общая формула для пересчета износа, г на 1 м бордюра

ный метр в сутки, будет выглядеть следующим образом:

$$M_{\text{изн}} = \frac{10^3}{365} \cdot \frac{1}{2} B \gamma_{\text{аб}} (a_{\text{изн}} + b_{\text{изн}} Q), \quad (4)$$

где  $\gamma_{\text{аб}}$  — объемный вес асфальтобетона, т/м<sup>3</sup>; коэффициент  $\frac{1}{2}$  учитывает тот факт, что дорога ограничена двумя бордюрами и полученная на всей дороге нагрузка поровну распределяется по обе стороны бордюра; при этом следует учесть, что почти вся масса смета оказывается на расстоянии не более 1 м от бордюра [4]. Приняв  $B=10$  м и  $\gamma_{\text{аб}}=2,3$  т/м<sup>3</sup>, получим

$$M_{\text{изн}} = 31,5(a_{\text{изн}} + b_{\text{изн}} Q). \quad (5)$$

Учитывая, что для однослойного асфальтового покрытия варьирование величин параметров последней зависимости имеет вид [3, 5]  $a_{\text{изн}}=0,4 \div 0,6$ ;  $b_{\text{изн}}=0,25 \div 0,55$ ;  $Q=2 \div 10$ , получим следующий диапазон варьирования нагрузки:

$$M_{\text{изн}} = 28,4 \div 192,2 \text{ г/м} \cdot \text{сут.}$$

Отметим, что здесь интервал изменения соответствует следующему интервалу изменения интенсивностей движения автотранспорта:  $A_{\text{д}}=1400 \div 5000$  авт/сут [5].

При детализированных расчетах  $Q$  может определяться через структуру грузового потока.

Перейдем теперь к оценке вклада в общую нагрузку износа шин. Каждый автомобиль ежегодно рассеивает в окружающую среду около 10 кг резины, в которой содержатся токсичные и канцерогенные вещества (цинк, кадмий и др.) [6]. Эта характеристика может использоваться при оценке нагрузки загрязняющих веществ на урбанизированные территории при укрупненных расчетах наряду с данными по фактическому износу протекторов шин или срокам (нормам) их эксплуатации.

При ориентировочных расчетах нагрузки от износа шин легковых автомобилей можно ориентироваться на величину их износа порядка 0,1 мм на 1000 км пробега [7]. Для расчета этой нагрузки, г/м·сут, предлагается формула

$$M_{\text{шин}} = A_{\text{д}}, \quad (6)$$

где  $A_{\text{д}}$  — интенсивность движения автотранспорта, авт/сут;  $n$  — количество шин в автомобиле;  $R$  — радиус шины, см;  $b$  — ширина протектора шины, см;  $I_{\text{шин}}$  — износ шин, мм/1000 км;  $\xi$  — коэффициент насыщенности протектора, доли единицы;  $\gamma_{\text{рез}}$  — удельный вес резины, г/см<sup>3</sup>;  $10^{-7}$  — коэффициент для пересчета износа  $I_{\text{шин}}$ , см на 1 м пробега;  $\frac{1}{2}$  — коэффициент, учитывающий распределение нагрузки поровну по обеим сторонам дороги.

Для легковых автомобилей берем следующие реальные значения параметров:  $R=30$  см,  $b=11$  см,  $I_{\text{шин}}=0,1$  мм/1000 км,  $\xi=0,85$ ,  $\gamma_{\text{рез}}=1,1$  г/см<sup>3</sup>,  $n=4$ ,  $A_{\text{д}}=1400 \div 5000$  авт/сут (интервал интенсивностей, используемый при расчете износа дорожных покрытий). Тогда получим следующий диапазон изменения искомой нагрузки:  $M_{\text{шин}}=0,06 \div 0,2$  г/м·сут.

Для грузовых автомобилей, учитывая большую истираемость шин за счет большего их веса и количества шин, получим общую величину износа, приблизительно в 15 раз большую, чем для легковых автомобилей:  $M_{\text{шин}}=0,7 \div 3$  г/м·сут.

При детализированных расчетах средний износ шин можно определить как средневзвешенную величину по структуре автомобильного потока. Последние две оценки будут лежать в основе дальнейшего сравнительного анализа.

Перейдем к оценке аэрозольного осаждения. При оценке нагрузок на окружающую среду автомобильных выбросов может использоваться табл. 1 [6].

Наиболее токсичны окислы азота. В больших городах на окись углерода от автотранспорта приходится 60—90% выбросов. Кроме этих данных необ-

Выброс веществ, г на 1 кг бензина

Вещество	Выброс	Вещество	Выброс
Окись углерода	405	Окислы азота	21
Углеводороды	71	Твердые вещества	2

ходимо знать величины удельных массовых выбросов окиси углерода для автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями, г на 1 км пробега. Наиболее полно эти данные приведены в работе [6].

С помощью этих данных по общему пробегу можно определить суточный или годовой выброс окиси углерода транспортными средствами в условиях АТП [6] и с помощью табл. 1 пересчитать его на нагрузку по твердым веществам. Данный подход может использоваться как при укрупненных, так и при детализированных расчетах нагрузки твердых веществ, содержащихся в выхлопных выбросах автотранспорта, на городские территории. В то же время для наших целей оценки прибордюрной нагрузки удобнее пользоваться предлагаемой нами формулой

$$M_{\text{выб}} = \frac{1}{2} \alpha M B_{\text{со}} \delta A_{\text{д}} \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где  $\frac{1}{2}$  — коэффициент пересчета нагрузки к двум бордюрам;

$\alpha$  — доля выбросов, оседающих на дорожное полотно;  $M B_{\text{со}}$  — удельный массовый выброс окиси углерода в расчете на один условный (средний) автомобиль, г/км;  $\delta$  — доля твердых частиц по отношению к выбросам окиси углерода (табл. 1);  $A_{\text{д}}$  — интенсивность движения, авт/сут;  $M_{\text{выб}}$  имеет размерность г/м·сут.

При знании характеристик структуры автомобильного потока эта формула может быть представлена через суммирование  $n$ -го количества членов типа (7). При оценочных расчетах возьмем следующие численные значения параметров формулы (7):  $\alpha=0,5$ ;  $M B_{\text{со}}=12,6 \div 201,6$  г/км [6];  $\delta=2/405$  (табл. 1);  $A_{\text{д}}=1400 \div 5000$  авт/сут.

В итоге получим следующий диапазон изменения нагрузки, связанной с осаждением аэрозолей автотранспортного происхождения:

$$M_{\text{выб}} = 0,022 \div 1,24 \text{ г/м} \cdot \text{сут.}$$

Перейдем теперь к оценке суммарного аэрозольного осаждения на основе данных прямых натурных измерений. Для крупных городов Украины имеем следующие среднегодовые интенсивности аэрозольного осаждения [8]: Киев — 500 т/км<sup>2</sup>·год, Харьков — 506, Донецк — 930 г/км<sup>2</sup>·год. Среднефоновое выпадение пыли составляет 10 кг/км<sup>2</sup>·сут. Переведя все эти данные в сопоставимые единицы, получим следующий диапазон величин интенсивностей аэрозольного осаждения:  $I_{\text{аэр}}=0,01 \div 2,54$  г/м<sup>2</sup>·сут. Для вычисления аэрозольной нагрузки на 1 м бордюра имеем формулу

$$M_{\text{аэр}} = \frac{1}{2} B I_{\text{аэр}}, \quad (8)$$

где  $B$  — ширина дороги, м;  $M_{\text{аэр}}$  измеряется в г/м·сут.

Таким образом, будем иметь следующий диапазон изменения аэрозольных нагрузок:  $M_{\text{аэр}}=0,05 \div 12,7$  г/м·сут. Отметим, что наши прямые измерения аэрозольного осаждения для условий г. Харькова (август — ноябрь 1987 г.) показали следующий диапазон изменения величины  $I_{\text{аэр}}$ :  $I_{\text{аэр}}=0,2 \div 0,8$  г/м<sup>2</sup>·сут. Все полученные количественные оценки нагрузок сведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует схема очередности (приоритетности) природоохранных и технологических мероприятий в условиях городских ландшафтов, направленных на снятие загрязняющей нагрузки.

Таблица 2

## Оценка вклада различных источников загрязнения в накопление твердых веществ (смета) на непроницаемых дорожных покрытиях

Источник загрязнения	Нагрузка, г/м <sup>2</sup> ·сут
Условная среднесуточная (за теплый период года) нагрузка при смыве с газонов	1,43 ÷ 101,3
Смыв с газонов при ливнях с суточным слоем стока 2 ÷ 10 мм	18,8 ÷ 3106
Износ асфальтобетонных дорожных покрытий	28,4 ÷ 192,2
Износ шин легкового автотранспорта	0,06 ÷ 0,2
Износ шин грузового автотранспорта	0,7 ÷ 3
Осаждение аэрозолей при выбросах автотранспорта	0,022 ÷ 1,24
Осаждение суммарных аэрозолей (различного генезиса)	0,05 ÷ 12,7

К первой группе мероприятий следует отнести мероприятия по предотвращению смыва почв с газонов и других проницаемых поверхностей и регулированию стока с них. Такими мероприятиями могут служить следующие: повышение высоты бордюра, планирование поперечного вогнутого профиля газонов с отводом излишков воды из центральной их части с помощью дренажа, целенаправленное отведение избытков стока с газонов с помощью стокоотводящих ложбин, особенно в условиях расчлененного и крутосклонного городского ландшафта.

Ко второй группе мероприятий следует отнести технологические мероприятия, связанные с повышением износостойкости дорожных покрытий. Например, при увеличении содержания битума с 5 до 7% износ уменьшается на 80%; применение изверженных пород для щебня взамен осадочных уменьшает износ на 60%; с возрастанием содержания щебня с 50 до 70% износ уменьшается на 50—60% [3].

К третьей группе мероприятий следует отнести мероприятия, направленные на уменьшение атмосферных выбросов, как организованных, так и автотранспортных (технологические и организационные мероприятия, системы газоочистки).

К четвертой группе мероприятий следует отнести технологические и организационные (организация движения автотранспорта) мероприятия, направленные на уменьшение износа шин.

Разрабатываемый здесь подход является частью общего дифференцированного экологического подхода к снятию антропогенных нагрузок на окружающую среду. Очевидно, что контроль источников загрязнения является более эффективным и перспективным, чем борьба с последствиями загрязнения городских ландшафтов и природной среды в целом. Такой дифференцированный подход позволяет эффективно предотвращать загрязнения всех компонентов природной среды одновременно. К этому подходу следует отнести и пространственное ранжирование территории по степени ее загрязненности для целей локального регулирования отведения и очистки поверхностного стока. В целом ранжирование нагрузок по их интенсивности и территорий по степени их загрязненности должно лежать в основе создания современных, научно обоснованных природоохранных стратегий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якиши А. М. Перспектива развития сети городских магистралей. М.: Стройиздат, 1975. 110 с.
2. Кузник И. А. Агроресомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв. Л.: Гидрометеониздат, 1962. 220 с.
3. Сиденко В. М., Михович С. И. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1978. 226 с.
4. Sartor J. D., Boyd G. B. Water pollution aspects of street surface contaminants. EPA-R2-72-081, USEPA, Wash., D. C., March, 1972.
5. Бируля А. К., Михович С. И. Работоспособность дорожных одежд. М.: Транспорт, 1968. 172 с.
6. Хомяк Я. Ф., Скорченко В. Ф. Автомобильные дороги и окружающая среда. Киев: Вища школа, 1983.
7. Работа автомобильной шины / Под ред. Кнороза В. И. М.: Транспорт, 1976. 237 с.
8. Давыдов С. А. Запыленность, задымленность и санитарная охрана атмосферного воздуха г. Киев // Оздоровление воздушных и водных бассейнов городов. Киев: Будівельник, 1968.

ВНИИ по охране вод Минводхоза СССР

Поступила в редакцию  
9.11.1988