

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

А.Б. Якушев, С.А. Куролап

«Центр-Дорсервис», Россия

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 24 ноября 2010 г.

Аннотация: Проведена геоэкологическая оценка состояния воздушного бассейна придорожной полосы г. Воронежа. На основе инструментальных исследований и расчетно-аналитических методов определен риск негативного воздействия на здоровье населения, обусловленный загрязнением воздушного бассейна автотранспортом.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение, геоэкологическая оценка, риск для здоровья.

Abstract: Geoeological assessment of the air quality of Voronezh roadside has been conducted. On the basis of instrumental studies and computational and analytical methods the risk of negative health impacts caused by air pollution transport is determined.

Key words: air pollution, geoeological assessment, risk to health.

Одним из постоянно растущих источников негативного воздействия на городскую среду является автотранспорт. В отличие от промышленных объектов, автомобильный транспорт является подвижным источником токсичных выбросов в приземный слой атмосферного воздуха, что представляет реальную угрозу здоровью человека и среде обитания. Вклад автотранспорта в эмиссию загрязняющих веществ на территории крупных городов, как правило, превышает 70% [2].

Рациональность функционирования автотранспорта в промышленно-развитых городах во многом определяется системой планировки улично-дорожной сети. Улично-дорожная сеть – совокупность улиц, площадей и дорог, соединяющая жилые и промышленные районы города между собой, по которым осуществляется движение транспорта и пешеходов. Планировочная схема улично-дорожной сети может иметь следующие основные виды: радиальная, радиально-кольцевая, прямоугольная, прямоугольно-диагональная, треугольная, комбинированная, свободная. Плотностью улично-дорожной сети является отношение суммарной протяженности улиц в км к соответствующей площади территории города в км².

Известно, что города США имеют обеспеченность магистральной сетью в 5-6 раз выше, чем города РФ. Причем удельный вес скоростных ма-

гистралей в общей структуре улично-дорожной городской сети США составляет 30-40%, в то время как в российских, даже крупных городах такие магистрали единичны или отсутствуют. В целом территории, занятые под транспортные зоны, в городах США, составляют 40-50% от общей площади, в городах РФ – всего 5-6%. Улучшить эти показатели для России сложно в связи с невозможностью быстрой реконструкции магистралей в уже отстроенных городах. В условиях роста автомобилизации и высокой загрузки центральных городских магистралей основное внимание нужно уделять развитию массового пассажирского транспорта большой и особо большой вместимости [4].

В связи с ростом автотранспортного потока улично-дорожная сеть городов не справляется с потоком автотранспорта как на магистральных, так и на объездных дорогах. Типичным примером такой ситуации служит г. Воронеж. По данным ГИБДД г. Воронежа городской парк автомобилей за последнее десятилетие значительно увеличился и на 1 января 2010 г. составил 255929 автомобилей (удельный вес автомобилей частных лиц составляет 88,14%), в то время как в 2006 г. парк автотранспорта насчитывал 205675 автомашин. Эмиссия загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспортных средств за 2009 г. составила 118220,5 тонн (более 90% от валового выброса в атмосферу всех загрязняющих веществ в г. Воронеже).

Основные категории дорог и улиц городского округа город Воронеж

Код категории	Категория	Основное назначение	Расчетная скорость движения, км/час	Ширина полосы движения, м	Число полос движения, м
1	2	3	4	5	6
1. Магистральные дороги:					
1А*	скоростного движения	Скоростная транспортная связь между удаленными промышленными и планировочными районами в крупнейших и крупных городах: выходы на внешние автомобильные дороги, к аэропортам, крупным зонам массового отдыха и поселениям в системе расселения. Пересечения с магистральными улицами и дорогами в разных уровнях	120	3,75	4-8
1Б	регулируемого движения	Транспортная связь между районами города на отдельных направлениях и участках преимущественно грузового движения, осуществляемого вне жилой застройки, выходы на внешние автомобильные дороги, пересечения с улицами и дорогами, как правило, в одном уровне	80	3,5	2-6
2. Магистральные улицы:					
2.1. Общегородского значения:					
2А*	непрерывного движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и общественными центрами в крупнейших, крупных и больших городах, а также с другими магистральными улицами, городскими и внешними автомобильными дорогами. Обеспечение движения транспорта по основным направлениям в разных уровнях	100	3,75	4-8
2Б	регулируемого движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и центром города, центрами планировочных районов; выходы на магистральные улицы и дороги, внешние автомобильные дороги. Пересечения с магистральными улицами и дорогами, как правило, в одном уровне	80	3,5	4-8
2.2. Районного значения:					
2В	транспортно-пешеходные	Транспортная и пешеходная связь между жилыми районами, а также между жилыми и промышленными районами, общественными центрами, выходы на другие магистральные улицы	70	3,5	2-4
2Г	пешеходно-транспортные	Пешеходная и транспортная связь (преимущественно общественный пассажирский транспорт) в пределах планировочного района	50	4	2

1	2	3	4	5	6
	2.3. Местного значения:				
3А	улицы в жилой застройке	Транспортная (без пропуска грузового и общественного транспорта) и пешеходная связь на территории жилых районов (микрорайонов), выходы на магистральные улицы и дороги регулируемого движения	30-40	3	2-3
3Б	улицы и дороги в научно-производственных, промышленных и коммунально-складских зонах (районах)	Транспортная связь (преимущественно, легковой и грузовой транспорт), в пределах зон (районов), выходы на магистральные городские дороги. Пересечения с улицами и дорогами устраиваются в одном уровне	40-50	3,5	2-4
3В	парковые дороги	Транспортная связь в пределах территории парков и лесопарков преимущественно для движения легковых автомобилей	40	3	2
3Г	<i>проезды:</i> основные	Подъезд транспортных средств к жилым и общественным зданиям, учреждениям, предприятиям и другим объектам городской застройки внутри районов, микрорайонов, кварталов	40	2,75	2
3Д	второстепенные		30	3,5	1

*) Категории 1А и 2А в городском округе город Воронеж отсутствуют.

Рост выбросов в атмосферу вредных веществ от автотранспорта связан с быстрым ростом парка городских автомобилей, значительным амортизационным износом эксплуатируемого подвижного состава, большая часть которого не оборудована нейтрализаторами отработавших газов, отсутствием мер по разгрузке основных магистралей города вследствие недостаточного развития улично-дорожной сети, отсутствием необходимого количества развязок, способствующих снижению негативного воздействия [5].

Город Воронеж имеет комбинированную улично-дорожную сеть, созданную еще в 60-х годах прошлого столетия. Данная сеть позволяла осуществлять регулирование транспортных потоков до середины 90-ых годов, но в течение последнего десятилетия все отчетливее стали проявляться проблемы оптимального регулирования транспортного потока, что существенно отражается на экологической обстановке города в целом. Площадь территории городского округа город Воронеж составляет 590,43 км², а протяженность дорог – 780,081 км; причем территории, занятые под транспорт, составляют всего 1-2% или 0,76 км/км². Однако требования СНиП 2.07.01-89* регламентиру-

ют, что плотность улично-дорожной сети должна быть 4,5 км/км²; следовательно, в условиях постоянно развивающейся жилой застройки данный регламент не выполняется.

Для оценки техногенного воздействия автотранспорта на городскую среду нами проведены отборы проб воздуха и анализы содержания загрязняющих веществ в воздушном бассейне придорожной полосы на различных категориях дорог и улиц городского округа город Воронеж (таблицы 1, 2).

Современная транспортная инфраструктура города включает следующие основные типичные категории дорог и улиц. Так, категория улиц **1Б** – это ул. Остужева, бульвар Победы, Ильюшина; **2Б** – Московский проспект, ул. Кольцовская, ул. Кирова, проспект Труда; **2В** – ул. Никитинская, ул. Ломоносова, ул. Пушкинская; **2Г** – ул. 60-й Армии, ул. Тимирязева, ул. 25 Октября; **3А** – ул. Верещагина, ул. Володарского, ул. Цюрупы; **3Б** – ул. Серафимовича, ул. Текстильщиков, ул. П.Осипенко; **3В** – ул. Спортивная набережная, ул. Кропоткина, ул. Куцыгина; **3Г** – ул. Фрунзе, ул. Переверткина, ул. 60 лет ВЛКСМ; **3Д** – многочисленные переулки, например, Ракетный, Здоровья и др.

Основные параметры элементов дорог городского округа город Воронеж

Параметры элементов дорог	Категории дорог					
	I-а	I-б	II	III	IV	V
Число полос движения	4; 6; 8	4; 6; 8	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3	–
Ширина проезжей части, м	2 · 7,5; 2 · 11,25; 2 · 15	2 · 7,5; 2 · 11,25; 2 · 15	7,5	7	6	4,5
Ширина обочины, м	3,75	3,75	3,75	2,5	2	1,75
Наименьшая ширина укрепленной полосы обочины, м	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	-
Наименьшая ширина разделительной полосы между разными направлениями движения, м	6	5	–	–	–	–
Наименьшая ширина укрепленной полосы на разделительной полосе, м	1	1	–	–	–	–
Ширина земляного полотна, м	28,5; 36; 43,5	27,5; 35; 42,5	15	12	10	8

Таблица 3

Концентрации загрязняющих веществ по основным категориям улиц (в долях ПДК среднесуточных)

Вещества	1Б	2Б	2В	2Г	3А	3Б	3В	3Г
Азота диоксид	1,885	1,445	1,12	0,75	0,268	0,25	4,45	0,4
Азота оксид	10,5	8,317	4,617	0,333	0,0	0,02	0,71	0,22
Сажа	1,342	1,031	0,052	0,18	0,038	0,24	0,15	0,106
Серы диоксид	2,01	1,76	0,004	0,42	0,072	0,06	0,55	0,0
Углерода оксид	1,79	1,419	0,236	0,0	0,052	0,05	0,42	0,08
Формальдегид	16,41	15,1	8,58	13,507	0,31	0,22	7,85	0,01
Суммарный эффект воздействия (средняя величина в долях ПДК)	5,66	4,85	2,44	2,56	0,12	0,14	2,36	0,14

К категориям дорог **I-а** относятся следующие: подъезд к г. Воронежу по направлению М4 «Дон» в Коминтерновском районе; **I-б** – транспортная развязка по типу «кольцо» – Курск – Борисоглебск (ул. Героев Сибириков) – больница скорой медицинской помощи; **II** – ул. Димитрова – ул. Обручева, ул. Пешестрелецкая и др.; **III** – участок Воронеж – с. Масловка – плотина водохранилища; **IV** – участок «Воронеж – Тамбов (ул. Остужева) – пос. Боровое – пос. Сомово»; **V** – ул. Планетная, ул. 20 лет Октября – набережная Петровская.

Отбор проб воздуха производился нами с помощью прибора «газоанализатор ГАНК-4А» (погрешность – не более 20%) в течение теплого периода 2010 г. (с июня по сентябрь). Измерения про-

водили на различном удалении, преимущественно на расстоянии от 5 м (расстояние пешеходной зоны улично-дорожной сети) до 10 м (в первом эшелоне зданий) от края проезжей полосы. Всего выполнено 100 анализов.

В таблице 3 и на рис. приведены обобщенные результаты анализа проб воздуха по определяемым ингредиентам, позволяющие оценить среднесуточные концентрации загрязняющих веществ – продуктов выбросов автотранспорта в придорожной полосе при неблагоприятных метеорологических условиях.

Полученные результаты показывают увеличенные степени негативного воздействия на городс-

кую среду в пределах более крупных и загруженных улиц (категории **1Б**, **2Б**).

Для оценки риска негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду отходящими загрязняющими веществами нами использована методика Н. Е. Кокодеевой [1], ранее апробированная при анализе акустического загрязнения от транспортного потока и адаптированная нами к оценке риска химического загрязнения воздушно-го бассейна.

В соответствии с принятыми нами допущениями, под риском или вероятностью отрицательного воздействия транспортного потока на среду обитания и человека предложено понимать отношение числа людей (N_{II}), пострадавших от загрязнения воздушного бассейна (вследствие приобретенных патологий органов дыхания, эндокринной и кроветворной систем, онкологических заболеваний), к общему числу людей (N_O), проживающих в придорожной полосе 1-ого эшелона зданий и постоянно испытывающих воздействие загрязняющих веществ от автотранспорта (в 10 м от проезжей части), т.е. величину, определяемую по формуле (1):

$$j = \frac{N_{II}}{N_O} \quad (1)$$

Риск негативного воздействия на здоровье человека от загрязнения воздушного бассейна автотранспортом рассчитывается по формуле (2):

$$j = 0.5 - \Phi \left(\frac{C_{50}^{max} - C_{\phi}}{\sqrt{s_{C_{50}^{max}}^2 + s_{C_{\phi}}^2}} \right), \quad (2)$$

где j – вероятность (риск) возникновения последствий по причине загрязнения воздушного бассейна автотранспортом;

C_{50}^{max} – уровень постоянного загрязнения воздушного бассейна, при котором вероятность нежелательного последствия от загрязнения воздушного бассейна равна 50% (такой уровень в теории риска называют максимальным, > ПДК);

C_{ϕ} – фактический уровень загрязнения за период наблюдения, доли ПДК;

$s_{C_{\phi}}$ – среднее квадратическое отклонение фактического уровня загрязнения;

$s_{C_{50}^{max}}$ – среднее квадратическое отклонение максимального уровня загрязнения;

$\Phi(U)$ – функция Лапласа (интеграл вероятности) [1].

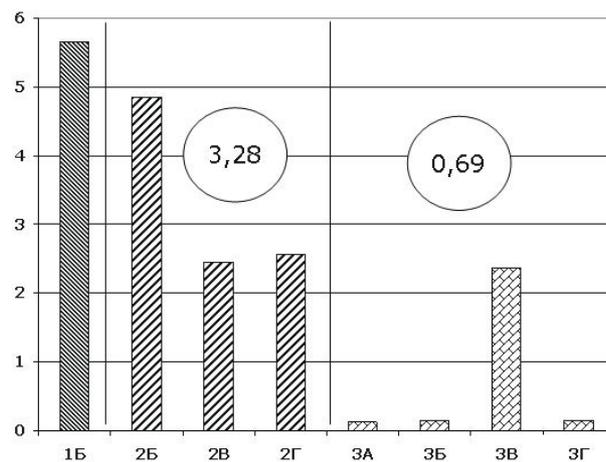


Рис. Степень воздействия автотранспорта на окружающую среду придорожной полосы

(по оси абсцисс – индексы категорий дорог, по оси ординат – уровень суммарного загрязнения воздуха в долях ПДК; число в кружке – средний уровень воздействия в долях ПДК по соответствующей категории дорог)

Показатели C_{ϕ} и $s_{C_{\phi}}$ определяются в результате статистических расчетов по достаточному числу замеров проб воздуха.

Формулы теории риска позволяют по значению ПДК устанавливать такой уровень загрязнения воздушного бассейна (C_{50}^{max}), при котором вероятность негативного воздействия (дополнительные случаи патологии органов дыхания, эндокринной и кроветворной систем; онкологических заболеваний) равна 50%. По параметру C_{50}^{max} определяется степень негативного воздействия на человека при любом фактическом уровне загрязнения атмосферы.

Например, если риск отрицательного воздействия на человека составляет $5 \cdot 10^{-3}$, то это означает, что 5 человек из 1000 пострадали от воздействия загрязнения воздушного бассейна.

Параметры C_{50}^{max} и $s_{C_{50}^{max}}$ устанавливают по формулам теории риска в зависимости от ПДК и величины коэффициента вариации фактического уровня загрязнения атмосферы (V) по формулам (3) и (4):

$$C_{50}^{max} = 2ПДК - \frac{\sqrt{(ПДК)^2 + (25V^2 - 1)(ПДК^2 - 25s_{ПДК}^2)} - ПДК}{25V^2 - 1} \quad (3)$$

$$C_{50}^{max} = 2ПДК - \frac{ПДК^2 - 25s_{ПДК}^2}{2ПДК} \quad (4)$$

где ПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе;

$S_{ПДК}$ – допустимое среднее квадратическое отклонение от величины ПДК;

V – коэффициент вариации фактического загрязнения воздуха, определяемый по формуле (5):

$$V = \frac{S_{C_{\phi}}}{C_{\phi}} \quad (5)$$

Параметр определяют по формуле (6):

$$S_{C_{50}^{max}} = VC_{50}^{max} \quad (6)$$

Рассмотрим данную методику применительно к придорожной полосе г. Воронежа. Для этого выполним обработку данных таблицы 3 с использованием известных приемов математической статистики.

Согласно мультипликативному методу:

– среднее значение:

$$C_{cp} = \frac{C_1 + C_2 + \mathbf{K} + C_n}{n} = \frac{5,66 + 4,85 + 2,44 + 2,56 + 0,12 + 0,14 + 2,36 + 0,14}{8} = 2,28$$

– дисперсия:

$$S_{C_{\phi}}^2 = \sqrt{\frac{(C_1 - C_{cp})^2 + (C_2 - C_{cp})^2 + \mathbf{K} + (C_n - C_{cp})^2}{n}} = \sqrt{\frac{3,38^2 + 2,57^2 + 0,16^2 + 0,28^2 + (-2,16)^2 + (-2,14)^2 + (-0,08)^2 + (-2,14)^2}{8}} = 3,96$$

– среднее квадратическое отклонение:

$$S_{C_{\phi}} = 1,99$$

Коэффициент вариации фактического загрязнения воздуха (V) с использованием формулы (5) составляет:

$$V = 1,99 / 2,28 = 0,87$$

По формуле (3) определим максимальный уровень длительного негативного воздействия на атмосферу, при котором вероятность нежелательного последствия для человека равна 50%:

$$C_{50}^{max} = 2 \times 1 - \frac{\sqrt{(1)^2 + (25 \times 1,99^2 - 1) \times (1^2 - 25 \times 0,19^2)} - 1}{25 \times 1,99^2 - 1} = 1,98$$

Среднее квадратическое отклонение максимального уровня воздействия через загрязнение воздушного бассейна вычислим по формуле (6):

$$S_{C_{50}^{max}} = 1,98 \times 0,87 = 1,72$$

При фактическом загрязнении придорожной полосы вредными веществами $C_{\phi} = 2,28$ ПДК риск

возникновения негативных последствий для человека вследствие загрязнения атмосферы в придорожной полосе от автотранспорта определим по формуле (2):

$$j = 0,5 - \Phi\left(\frac{1,98 - 2,28}{\sqrt{1,72^2 + 1,99^2}}\right) = 0,5 - \Phi(-0,11) = 0,46$$

Таким образом, полученный результат свидетельствует, что в целом на территории придорожных полос города 46 жителей (из каждых 100), проживающих вблизи автотрасс (зоне непосредственного негативного воздействия), подвергаются повышенному риску неблагоприятных воздействий автотранспорта, а результатом такого воздействия является появление дополнительной патологии дыхательной, эндокринной, кроветворной систем, а также повышенный риск онкологических заболеваний [3].

В условиях прогрессирующего роста плотности городской застроенной территории целесообразны следующие мероприятия: а) улучшение качества дорожного покрытия территорий, занятых транспортной инфраструктурой; б) увеличение зеленых зон между транспортным комплексом и жилой застройкой; в) перспективное планирование территории с учетом приоритета кольцевых схем улично-дорожной сети и переход от прямоугольных улично-дорожных сетей к кольцевым, что позволит снизить выбросы от автотранспорта в г. Воронеже; г) разработка автоматизированных систем управления улично-дорожной сетью в «проблемных» местах, где невозможны кольцевые схемы улично-дорожной сети, для сокращения времени передвижения автотранспорта.

Согласно проведенным нами расчетам по программе «Расчет выбросов автотранспорта» (методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов, утвержденная приказом Госкомэкологии России № 66 от 16.02.1999) объем выбросов по варианту «кольцо» меньше традиционного, а именно: по выбросам оксида углерода – в 1,5 раз меньше; оксида азота – примерно одинаков; диоксида азота – в 1,1 раза больше; углеводородам (парам бензина) – в 1,4 раз меньше; углеводородам (парам керосина) – примерно одинаков; диоксида серы – в 1,6 раз меньше; формальдегида – в 1,5 раз меньше; по бенз(а)пирену – в 1,9 раз меньше [6].

После обработки инструментальных данных на тех же категориях дорог было выявлено, что на-

личие зеленых насаждений способствует снижению максимальных концентраций загрязняющих веществ в придорожной полосе минимум на 15%. Наиболее эффективны посадки, которые распределены по всем ярусам.

Полученные результаты могут быть использованы в автодорожном проектировании для оптимизации систем построения улично-дорожной сети г. Воронежа и других крупных городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокодева Н. Е. Оценка степени риска отрицательного шумового воздействия на человека от транспортного потока / Н. Е. Кокодева // *Дороги и мосты*. – М., 2010. – Вып. 23/1. – С. 241-252.

2. Константинов В. М. Охрана природы / В. М. Константинов. – М.: Академия, 2000. – 190 с.

3. Куролап С. А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С. А. Куролап, Н. П. Мамчик, О. В. Клепиков. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2006. – 220 с.

4. Негроров О. П. Экологические основы оптимизации и управления городской средой. Экология города / О. П. Негроров, Д. М. Жуков, Н. В. Фирсова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2000. – 271 с.

5. О состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2009 г.: Доклад / Управление по охране окружающей среды администрации городского округа город Воронеж. – Воронеж: Изд.-полиграф. центр Воронеж. гос. ун-та, 2010. – 78 с.

6. Якушев А. Б. Геоэкологический аспект проектирования автомобильных дорог в городских условиях на примере г. Воронежа / А. Б. Якушев // *Экология регионов: сб. материалов 3-й Междунар. науч.-практ. конф.* – Владимир, 2010. – С. 85-88.

Якушев Александр Борисович
ведущий специалист экологического сопровождения проектов ООО «Центр-Дорсервис», г. Воронеж, т. 89081397174, E-mail: alecsandr2025@mail.ru

Куролап Семен Александрович
доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (4732) 66-56-54, E-mail: kurolap@vmail.ru

Yakushev Alexander Borisovitch
Leading specialist environmental support project «Center-Dorservis», Voronezh, ie 89081397174, E-mail: alecsandr2025@mail.ru

Kurolap Semyon Aleksandrovitch
Doctor of Geography, Professor, Head of Geoecology and environmental monitoring, Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 66-56-54, E-mail: kurolap@vmail.ru