

АНАЛИЗ РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА И ПУТИ ЕГО СНИЖЕНИЯ

© 2011 И.В. Май, С.В. Клейн

Федеральный научный центр медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения, г. Пермь

Поступила в редакцию 04.10.2011

В статье рассматриваются вопросы оценки риска здоровью населения, обусловленного воздействием химических веществ, поступающих в организм человека с выбросами от автотранспорта. Дана количественная характеристика неканцерогенного и канцерогенного риска для детского и взрослого населения города, формируемого передвижными источниками загрязнения атмосферного воздуха. Обоснованы мероприятия по минимизации риска здоровью населения крупного промышленного центра.

Ключевые слова: *автотранспорт, атмосферный воздух, химические вещества, риск для здоровья населения, социально-гигиенический мониторинг*

Здоровье населения, которое формируется в том числе качеством среды обитания, в последнее время стало определяющим фактором социально-экономического, интеллектуального и культурного развития страны. В России более 50 млн. человек проживает в условиях загрязнения атмосферного воздуха, обусловленного выбросами промышленных предприятий и автотранспорта. Наиболее выражены санитарно-гигиенические проблемы, связанные с загрязнением атмосферного воздуха, в крупных индустриально развитых городах России, в том числе в Перми. Рост количества автотранспорта в городах, более высокая токсичность выбросов автотранспорта в сравнении с выбросами от производственных стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха, близость передвижных источников к жилым районам, неудовлетворительное содержание городских дорог обостряет проблему качества атмосферного воздуха в городах, нивелируя картину его улучшения, обусловленного снижением выбросов от промышленных предприятий.

Загрязнение воздуха выбросами отработавших газов автомобилей на улично-дорожной сети города является прямым следствием интенсивности и характера движения автомобильных потоков. Опасность выбросов автотранспорта определяется несколькими составляющими:

- выбросы осуществляются непосредственно в приземный слой атмосферы на уровне дыхания человека;
- выбросы осуществляются в местах наибольшей плотности постоянного проживания и временно пребывания населения;

– выбросы автотранспорта представляют собой многокомпонентную смесь, состоящую не только из исходных углеводородов, но и продуктов их неполного окисления, термической деструкции и некоторых других превращений. Состав выхлопных газов насчитывает около 450 соединений с разным составом и токсическими характеристиками, таких как оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, сернистый ангидрид, сажа, формальдегид, 3,4-бензпирен и др.

Исследования, проводившиеся в различных странах, показали, что наибольшие концентрации загрязняющих веществ выделяются автотранспортом в момент работы на холостом ходу и при кратковременных остановках. Кроме того, многими исследователями показано, что высокий канцерогенный риск связан с интенсивным воздействием автотранспорта (в американских исследованиях вклад передвижных источников в суммарный аэрогенный канцерогенный риск составляет 54%), что требует необходимости осуществления мероприятий по устранению или снижению риска, в первую очередь от выбросов автотранспорта [1-3].

Цель работы: оценка риска здоровью населения при воздействии химических веществ поступающих в атмосферный воздух с выбросами автотранспорта в условиях крупного промышленного центра и моделирование возможности его снижения с учетом региональных особенностей.

Материалы и методы. Математическое моделирование распространения вредных веществ от стационарных источников и автотранспорта в атмосферном воздухе на анализируемой территории осуществлялось с расчетом максимальных и среднегодовых приземных концентраций с использованием программ УПРЗА «Эколог», версия 3.0 и УПРЗА «Эколог 3.0» сборка 3.0.108.0 с блоком расчета «Средние», реализующих методику НИИ Атмосферы и ГГО

Май Ирина Владиславовна, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе. E-mail: root@fcrisk.ru

Клейн Светлана Владиславовна, кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией методов социально-гигиенического мониторинга. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

им. Воейкова. Метеорологические характеристики территории были получены по специальному запросу от ГГО им. Воейкова в виде метеофайла. В расчётах использовалась городская система координат. В качестве расчетного прямоугольника был выбран прямоугольник размером 50,5 км на 34,8 км со следующими параметрами: $X_1=25540$, $Y_1=857$, $X_2=24960$, $Y_2=857$, $Z=34800$. Шаг по оси $X=100$ м, шаг по оси $Y=100$ м. Общий массив состоял из 176 594 точек (квадратов со стороной 100 метров). Расчеты распространения вредных веществ от выбросов автотранспорта проводились на основании «Методического пособия по выполнению сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта города (региона) и их применению при нормировании выбросов» с учетом оценки структуры и интенсивности транспортных потоков в г. Перми [4].

При определении выбросов в атмосферу загрязняющих веществ транспортным потоком на магистралях г. Перми использовались данные кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Пермского государственного технического университета, в том числе параметры ездового цикла автомобилей транспортного потока (на основе замеров ездовых циклов), марочный состав автомобилей транспортного потока, виды базовых автомобилей, техническая характеристика базовых моделей автомобилей моделируемого транспортного потока, расход топлива при движении автомобиля по перегону, расход топлива при переключении передач, торможении и остановке автомобиля, расчёт расхода топлива при разгоне автомобиля, расход топлива при движении базовых моделей автомобилей по замеренным перегонкам в соответствии с разработанной методикой. Было принято 18 базовых моделей автомобилей, которые позволили учесть весь автотранспортный поток: ВАЗ 11113, ВАЗ 2106, ВАЗ 21103, ГАЗ 31029, УАЗ 31512, ГАЗ 3302 «ГАЗель», ЗИЛ 5301 «Бычок», ГАЗ 3307, ЗИЛ 431410, КамАЗ 5320, МАЗ 555100, МАЗ 630300-020, ГАЗ 3221, КАвЗ 3244 «Бычок», ПАЗ 3205, ЛАЗ 699, ЛиАЗ 5256, Икарус 280. В соответствии с характеристикой двигателей, используемым топливом и грузоподъемностью, каждая базовая модель относилась к той или иной группе транспортных средств по составу выбросов.

В расчет принимались данные, полученные в результате натурных замеров интенсивности и структуры транспортных потоков уличной дорожной (УДС) сети г. Перми. Общая протяженность УДС г. Перми, по данным муниципального управления внешнего благоустройства, составляет около 1050 км. Площадь автомобильных улиц и дорог: I категории – 287,46 тыс. м², II категории – 1282,603 тыс. м², III категории – 4601,1 тыс. м², IV категории – 941,355 тыс. м². Натурные

измерения интенсивности и структуры транспортных потоков выполнялись на 1329 участках, которые характеризовали либо линейные участки дорожно-транспортной сети, либо перекрестки. В целом исследование охватывало 78% УДС по длине и более 95% по площади. При расчетах в соответствии с представленными исходными материалами принималось, что все соединения серы, присутствующие в топливе, выбрасываются из двигателя с выхлопными газами. Доля бензола в выхлопных газах устанавливалась на основе величин удельных выбросов углеводородов для каждой марки автомобилей с учетом изменения компонентного состава топлива. Расчеты масс выбросов на магистралях выполнялись с использованием программы «Магистраль». Полученные для каждого участка трассы или для перекрестка, массы выбросов использовались для выполнения расчета рассеивания примесей вокруг магистрали. Высота выброса принималась 0,75 м. Ширина трассы во всех случаях принималась равной 10 м (средняя арифметическая ширина трассы в городе составляет 6,8 м, пробные расчеты рассеивания показали малую зависимость результатов рассеивания от изменения ширины магистрали от 6 до 10 м). Расчеты выполнялись для неблагоприятных метеорологических условий. Средняя для года величина определялась по среднегодовой нагрузке автотранспорта на магистралях. Результаты определения масс выброса загрязняющих веществ и данные расчетов рассеивания накладывались на векторную карту города.

Учитывая неопределенности в натурных исследованиях и расчетных данных, а также значительные расхождения информации о концентрации веществ атмосферного воздуха на стационарных постах наблюдения ГУ «Пермский ЦГМС», маршрутных постах филиала «ЦЛАТИ по Пермскому краю» ФГУ «ЦЛАТИ по ПФО» (вблизи магистралей с наибольшей интенсивностью движения) и расчетных концентрациях в точках расположения постов, была реализована методика верификации данных натурных исследований с данными расчетов рассеивания выбросов от стационарных источников (более 11 тысяч источников) и автотранспорта (методические рекомендации «Аппроксимация данных натурных исследований качества атмосферного воздуха для задач пространственного санитарно-гигиенического анализа») [5, 6]. Используемый метод верификации позволил добиться повышения соответствия данных о качестве атмосферного воздуха, полученные с помощью расчетов рассеивания по методике ОНД-86 и данных по реальным концентрациям веществ с постов наблюдений, что дало возможность более эффективно оценивать зоны повышенных загрязнений вредными веществами и формируемые при этом уровни экспозиции населения. Затем с учетом

долевого вклада выбросов автотранспорта по расчетным данным определялись верифицированные концентрации загрязняющих веществ в каждой точке расчетной сетки, создаваемые передвижными источниками загрязнения атмосферы, которые в дальнейшем использовались для расчета параметров экспозиции. Оценка риска проводилась по классической схеме [7] на основе полученных верифицированных данных качества атмосферного воздуха по 11 приоритетным веществам в каждой точке расчетной сетки. В процессе процедуры оценки риска были реализованы этапы идентификации опасности для здоровья, характеристики зависимостей «доза – ответ», оценки экспозиции и характеристики риска. В соответствии с целью исследования на этапе идентификации опасности были отобраны приоритетные вещества, для которых установлены весовые доказательства способности вызывать негативные эффекты здоровью населения и составляющие более 90% вклада в общей массе выбросов – азота диоксид, водород хлористый, углерода оксид, серы диоксид, бензол, ксилол, толуол, этилбензол, акролеин, ацетальдегид,

формальдегид. Для определения численности населения, проживающего в условиях различного уровня риска, тематический ГИС-слой с численностью населения сопрягали с ГИС-слоями пространственного распределения риска здоровью населения.

Результаты и выводы. По данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Пермскому краю в 2010 г. суммарные выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта составили 33,829 тыс. т, в том числе: твердых частиц в пересчете на углерод (сажа) – 0,203 тыс. т, диоксида серы – 0,412 тыс. т, оксида углерода – 42,717 тыс. т, оксидов азота – 6,366 тыс. т, ЛОС (не включая метан) – 5,489 тыс. т, метан – 0,236 тыс. т, аммиак – 0,099 тыс. т (согласно новой методологии расчетов выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в соответствии с «Рекомендациями по оценке выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от передвижных источников» ОАО «НИИ Атмосфера», Санкт-Петербург, 2010 г.). Вклад автотранспорта в суммарные выбросы в динамике за последние 5 лет составляет 62-73% (табл. 1).

Таблица 1. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников предприятий и организаций города и автотранспорта, тыс. тонн

Источники выбросов	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
стационарные источники	36,1	36,1	34,0	34,1	33,8
автотранспорт	90,9	97,5	92,9/49,4*	90,2/47,7*	55,5*
в целом по городу	127,0	133,6	126,9/83,4*	124,3/81,8*	89,3*

Примечание: * согласно новой методологии расчетов выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в соответствии с «Рекомендациями по оценке выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от передвижных источников» ОАО «НИИ Атмосфера» (Санкт-Петербург, 2010 г.)

По сравнению с предыдущим годом выбросы от автотранспорта увеличились на 7,784 тыс. тонн вследствие увеличения количества грузовых автомобилей. По масштабам транспортного комплекса г. Пермь сопоставим с крупнейшими городами России. Протяженность дорог в г. Перми – 1108,7 км – составляет почти 10% от протяженности всех дорог Пермского края. За последние 10 лет (2001-2010 гг.) интенсивность движения автотранспорта в Перми увеличилась почти в 2 раза, при этом пропускная способность дорог осталась на прежнем уровне, средняя скорость автотранспорта составляет 27 км/час, интенсивность движения на некоторых участках УДС города в часы пик превышает 2,5 тыс. машин в час. По данным УГИБДД ГУВД г. Перми в 2010 г. в городе насчитывалось 246239 единиц автотранспортных средств (в 2009 г. – 244034, в 2008 г. – 247762), из них: грузовых машин – 29050 (в 2009 г. – 18094, в 2008 г. – 19397), автобусов – 3977 (в 2009 г. – 4000, в 2008 г. – 4242), легковых – 213212 (в 2009 г. – 221940, в 2008 г. – 224123).

Сравнительная оценка состояния загрязнения атмосферного воздуха в различные периоды

(зимний, весенний, летний и осенний) года (по данным филиала «ЦЛАТИ по Пермскому краю» ФГУ «ЦЛАТИ по ПФО») показала значительное увеличение концентраций загрязняющих веществ в летний период, постоянное присутствие в атмосферном воздухе диоксида азота и формальдегида на всех магистралях. Превышения регистрировались по диоксиду азота до 6,9 ПДКм.р., формальдегиду до 1,8 ПДКм.р., оксиду углерода до 1,48 ПДКм.р., взвешенным веществам до 1,2 ПДКм.р., бензолу до 2,42 ПДКм.р., этилбензолу до 1,95 ПДКм.р. и др. Максимальные значения концентраций наблюдались в дни с неблагоприятными метеорологическими условиями в любой из периодов. Отмечено значительное увеличение концентраций по всем определяемым загрязняющим веществам в летний период, что обусловлено активным протеканием фотохимических процессов, сопровождающихся трансформацией углеводородов, с образованием формальдегида, ацетальдегида, оксида углерода и др. соединений и увеличением испарений от потерь топлива.

По верифицированным данным в зонах жилой застройки автотранспорт формировал

качество атмосферного воздуха с превышением нормативов по хлористому водороду (до 6,5 ПДКм.р., 3,6 ПДКс.с.), оксиду углерода (до 6,4 ПДКм.р.), толуолу (до 10,2 ПДКм.р.), формальдегиду (до 9,0 ПДКм.р., 13,5 ПДКс.с.), бензолу (до 5,9 ПДКм.р., 1,5 ПДКс.с.), ксилолу (до 6,7 ПДКм.р.), этилбензолу (до 16,7 ПДКм.р.), ацетальдегиду (до 5,0 ПДКм.р.) и др.

На этапе оценки экспозиции установлено, что концентрации анализируемых приоритетных примесей атмосферного воздуха в зонах жилой застройки пространственно диффузно в 1,2-35,7 раза превышают острые и хронические референтные уровни. На этапе характеристики риска установлено, что для населения г. Перми при остром ингаляционном воздействии коэффициенты опасности, выше приемлемого уровня ($HQ > 1$) формируются формальдегидом (до 7,5), акролеином (до 7,4), толуолом (до 1,6), бензолом (до 11,8), азота диоксидом (до 2,0) и пр. Выше приемлемого уровня коэффициенты опасности хронического ингаляционного воздействия ($HQ > 1$) формируют азота диоксид (до 2,6), водород хлористый (до 17,9), бензол (до 7,1), ксилол (до 4,2), толуол (до 7,1), акролеин (до 14,4), ацетальдегид (до 2,2), формальдегид (до 13,5) и т.д.

Индексы опасности острого и хронического аэрогенного воздействия (Н_а) анализируемых веществ по 13 из 18 рассматриваемых критических органов и систем превышают в 1,1-42,7 раз приемлемый уровень для части населения (57,8–95,6%), проживающего в зонах вдоль автомагистралей. Ранжирование индексов опасности, формируемых выбросами автотранспорта в условиях острой экспозиции, свидетельствуют о наиболее высоких уровнях опасности в отношении органов дыхания (Н_{ас} до 32,19), органов зрения (до 36,82), процессов развития (до 7,87), центральной нервной (до 2,76), репродуктивной (до 7,11) и сердечно-сосудистой (до 3,2) систем, слизистых оболочек (до 2,15). При хроническом воздействии приоритетными критическими органами/системами являются органы дыхания (Н_{сг} до 39,63), органы зрения (до 23,37), кровеносная (до 9,81), сердечно-сосудистая (до 8,42), репродуктивная (до 7,42), иммунная (до 16, 11), центральная нервная (до 19,3) системы, печень (до 4,87), почки (до 4,68), красный костный мозг (до 7,21), процессы развития (до 16,3).

Выше приемлемого уровня индивидуальный канцерогенный риск формируют бензол (до $5,2 \times 10^{-4}$) и формальдегид (до $6,3 \times 10^{-4}$). Суммарный индивидуальный канцерогенный риск для детского населения (C_{Ра}) от воздействия выбросов автотранспорта на территории краевого центра находится в пределах $2,08 \times 10^{-6} - 1,10 \times 10^{-3}$, для взрослого населения - $2,13 \times 10^{-6} - 1,18 \times 10^{-3}$. Выше предельно допустимого уровня индивидуального канцерогенного риска (C_{Ра} $> 10^{-4}$) проживает 94,9% детей (более 170 тыс. чел.) и 94,8%

взрослого населения (более 795 тыс. чел.) г. Перми. Число вероятных дополнительных случаев злокачественных новообразований в течение года – 14.

Установлено, что концентрации ацетальдегида, формальдегида и бензола в зонах неприемлемого риска на 98,9-99,6% формируются выбросами автотранспорта. Анализ пространственного распределения комбинированного канцерогенного риска показал, что наибольшие уровни формируются для населения, проживающего в зонах влияния промышленных предприятий и вдоль крупных автомагистралей. В центральной части Перми вклад автотранспорта в канцерогенный риск составляет до 76%. По мере удаления от магистралей величина вклада снижается, но в целом по городу этот показатель остается высоким – порядка 60%.

Оценка риска для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха выбросами автотранспорта, выполненная в соответствии со стандартизованными подходами, показала, что в современной ситуации в городе не обеспечивается безопасность среды обитания населения. Достижение приемлемого уровня риска для населения в зонах наибольшей опасности в г. Перми может быть достигнуто снижением выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ передвижными источниками загрязнения в результате реализации ряда мероприятий:

1. Организация оптимального движения транспортных потоков улично-дорожной сети:
 - существенное ограничение или запрет на въезд индивидуального автотранспорта в центр города, являющегося зоной неприемлемого риска здоровью населения, формируемого автотранспортом (рис. 1), и создание приоритетных льготных условий перехода на общественный транспорт;
 - оптимизация структуры улично-дорожной сети, повышение шаговой доступности объектов общего пользования, сокращение автомобильных пробегов;
 - организация перехватывающих стоянок по периметру центра города;
 - организация равномерного, непрерывного движения транспорта через использования «умных светофоров», координацию работы световой сигнальной системы на перекрестках дорожной сети (например, режим «зеленая волна»), строительство над- и подземных транспортных развязок или пешеходных переходов.

1. Максимальное продвижение экологически чистых видов транспорта и использование экологически более чистого топлива. Пути решения:
 - широкое использование электротранспорта (рис. 2);
 - создание оптимально-комфортных условий для передвижения по городу на велосипедах;



Рис. 1. Пространственное распределение коэффициентов опасности, формируемых формальдегидом, содержащимся в отработавших газах автотранспортных средств до проведения мероприятий

– расширение использования более безопасных, с точки зрения формируемого уровня риска, видов топлив (например, EURO-4) (рис. 3);

Совместная реализация мероприятий по ограничению въезда в центр города индивидуальных

автотранспортных средств (до 70%) и переходу оставшегося транспорта на экологически чистое топливо (до 90%) даст более существенные результаты снижения риска (рис. 4).



Рис. 2. Пространственное распределение коэффициентов опасности, формируемых формальдегидом, содержащимся в отработавших газах автотранспортных средств, при ограничении въезда индивидуальных автотранспортных средств в центр города на 70% и переходе пассажиропотока на электротранспорт



Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов опасности, формируемых формальдегидом, содержащимся в отработавших газах автотранспортных средств при переходе 50% индивидуальных автотранспортных средств на топливо стандарта «EURO-4»

Комплексный подход и реализация предложенных мероприятий позволит минимизировать риск здоровью населения крупного промышленного центра, создаваемого передвижными источниками выбросов. Ориентация на развитие общественного транспорта, прежде всего электрического, создание иерархии дорог, ограничение въезда грузового транспорта, вывод ряда улиц под пешеходные зоны – все мероприятия имеют позитивный экологический эффект в виде сокращения выбросов автотранспорта в зонах постоянного проживания или длительного пребывания населения. Кроме

того выявленные приоритетные факторы внешнего ингаляционного риска и территории с населением, проживающим в условиях неприемлемого риска, обусловленного выбросами автотранспорта целесообразно учитывать при планировании программ натурных исследований качества среды обитания для задач социально-гигиенического мониторинга, планировании и проведении диагностических и лечебно-профилактических мероприятий в отношении контингентов риска и др.



Рис. 4. Пространственное распределение коэффициентов опасности, формируемых формальдегидом, содержащимся в отработавших газах автотранспортных средств при ограничении въезда индивидуальных автотранспортных средств в центр города на 70% и переходе 90% единиц автотранспорта на топливо стандарта «EURO-4»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Фокин, С.Г. Оценка риска здоровью населения при проектировании транспортных потоков Москвы // Гигиена и санитария. 2009. №6. С. 36-38.
2. Боев, В.М. Экология человека на урбанизированных и сельских территориях / В.М. Боев, Н.Н. Верещагин, М.А. Скачкова, В.В. Быстрых. – Оренбург, 2003. 234 с.
3. Боев, В.М. Практическое применение методологии оценки аэрогенного риска для здоровья населения при обосновании санитарно-защитной зоны // Гигиена и санитария. 2009. №4. С. 82-84.
4. Методическое пособие по выполнению сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта города (региона) и их применению при нормировании выбросов/ ВНИИ Атмосфера, ГГО им. Воейкова. Утверждено приказом Госкомэкологии России № 66 от 16.02.1999. – М., 1999. 62 с.
5. Клейн, С.В. Здоровье населения и среда обитания. Анализ многосредового риска и ущерба при воздействии химических факторов / С.В. Клейн, Н.В. Зайцева, И.В. Май // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 207 с.
6. Зайцева, Н.В. Оптимизация программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха селитебных территорий в системе социально-гигиенического мониторинга на базе пространственного анализа и оценки риска для здоровья населения / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн // Пермский медицинский журнал. 2010. № 2. С. 130-138.
7. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

THE ANALYSIS OF RISK TO HEALTH OF THE POPULATION FROM INFLUENCE OF MOTOR TRANSPORT EMISSIONS AND WAYS OF ITS DECREASE

© 2011 I.V. May, S.V. Klein

Federal Scientific Centre of Medical-preventive Technologies for Management of Risks to the Population Health, Perm

In article questions of estimation the risk to health of the population caused by influence of chemicals, arriving in a human body with emissions from motor transport are considered. The quantitative characteristic of not cancerogenic and cancerogenic risk for children's and adult population of the city formed by mobile polluters of free air is given. Actions for minimization of risk to health of the population in large industrial centre are proved.

Key words: motor transport, free air, chemicals, risk for population health, socially-hygienic monitoring

Irina May, Doctor of Biology, Deputy Director on Scientific Work. E-mail: root@fcrisk.ru

Svetlana Kleyn, Candidate of Medicine, Chief of the Socially-hygienic Methods of Monitoring. E-mail: kleyn@fcrisk.ru