

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

УДК 614.7

И.В. Май, С.А. Вековщина

Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ И НАТУРНЫХ ДАННЫХ

Описан метод сопряжения результатов расчетов рассеивания загрязняющих веществ и натуральных измерений качества воздуха. Для крупного промышленного центра на базе сопряженных результатов проведена оценка качества воздуха и рисков для здоровья населения.

Ключевые слова: расчеты рассеивания, инструментальные измерения, гигиеническая оценка, оценка риска здоровью.

В российских городах проживают 73 % населения страны, каждый шестой россиянин живет в одном из 17 городов-миллионеров. Большие города приобретают новую функцию стимулятора новых производств, а потому они становятся принципиальным фактором фокусировки и интеграции народно-хозяйственной деятельности. Сосредоточение на ограниченной территории современного города большого количества техники, транспорта, зданий, людей обуславливает то, что городская жилая среда по качеству существенно отличается от природной нативной (естественной) среды. В первую очередь это касается качества атмосферного воздуха. Основной причиной низкого качества атмосферы города является техногенное загрязнение.

За последние годы динамика сокращения выбросов от стационарных источников нивелируется ростом выбросов от автотранспорта, что приводит к снижению качества атмосферного воздуха.

Проблема неудовлетворительного качества атмосферного воздуха как составляющей среды обитания населения связана с тем, что часто на урбанизированных территориях исторически сложившаяся планировка характеризуется близостью промышленной и жилой застройки, отсутствием требуемых разрывов между источниками воздействия и местами постоянного проживания или рекреации населения при низком природном потенциале рассеивания примесей. Ситуация осложняется тем, что спектр химических примесей, выбрасываемых в атмосферу ряда городов промышленными предприятиями, объектами коммунальной сферы и транспортом, очень велик. Так, в Пермском крае с территории г.Перми только по декларированным хозяйствующими субъектами данным в атмосферу поступает более 400 химических соединений, с территорий городов Березники, Соликамск и Губаха – порядка 100. Более 70 химических соединений, в том числе широкий спектр тяжелых металлов, выбрасывают с пылегазовыми смесями предприятия и организации городов Чусовой и Лысьва.

Программы государственного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, которые проводит Росгидромет на стационарных постах наблюдения, характеризуются узким перечнем измеряемых загрязнителей, что объяснимо в условиях высокой стоимости инструментальных исследований. Однако неполнота спектра измерений не позволяет корректно оценить экспозицию населения. Кроме того, система размещения постов наблюдений не дает целостного пространственного представления о загрязнении воздушной среды в городе, особенно малокомпактном, таком, например, как Пермь или Соликамск.

Получить информацию о распределении по территории концентраций всех загрязняющих веществ, выполнить на их основе гигиеническую оценку, в том числе оценку риска для здоровья населения, позволяют расчеты рассеивания примесей в атмосферном воздухе с использованием программных средств и максимально полных баз данных об источниках выбросов [1, 2].

Каждый из способов оценки уровней загрязнения – инструментальный и расчетный – имеет свои достоинства и недостатки, которые обобщены в таблице.

Сравнение инструментальных и расчетных методов для целей гигиенической оценки, прогноза и анализа ситуации

| Задача | Уровень надежности, относящийся | |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| | к наблюдениям | к моделированию, расчетам |
| Оценка истинности концентраций | Высокий | Низкий (4) |
| Система экстренного оповещения | Высокий | Низкий |
| Оценка различий во времени | Высокий | Высокий |
| Оценка различий в пространстве | Низкий (1) | Высокий |
| Прогноз | Низкий (2) | Высокий |
| Определение доли загрязнения источников | Низкий (3) | Высокий |

Примечание: 1 – повышается увеличением и оптимизацией размещения точек наблюдений; 2 – несколько повышается накоплением данных во времени; 3 – несколько повышается системой подфакельных наблюдений; 4 – повышается улучшением качества исходной базы для расчетов (в основном по параметрам источников).

Сопряжение данных натуральных наблюдений и расчетного моделирования представляется наиболее эффективным средством информационной поддержки гигиенической оценки ситуации и принятия решений по минимизации рисков для здоровья, обусловленных загрязнением среды обитания.

Для решения задачи сопряжения результатов модельных и инструментальных исследований использовали совокупность данных со всех постов наблюдения города и итоги расчетов рассеивания, полученные на основе сводной базы данных о стационарных и передвижных источниках выбросов. Расчеты выполняли для заданных метеорологических условий по программе, реализующей сертифицированную отечественную модель атмосферной диффузии [3]. Приземные концентрации определяли в точках регулярной сетки, покрывающей всю территорию поселения, и точках постов инструментальных измерений.

Значения коэффициента соответствия в точках расположения постов получали по формуле

$$K_i = \frac{C_i^r}{C_i^p}, \quad (1)$$

где I – номер поста; C_i^r – расчетные концентрации загрязняющего вещества на i -м посту наблюдений; C_i^p – фактические концентрации загрязняющего вещества на i -м посту наблюдений.

Для интер-, экстраполяции коэффициентов на всю систему точек, распределенных по территории города, проводили процедуру триангуляции. Задача операции состояла в соединении всех точек непересекающимися отрезками так, чтобы новый отрезок уже нельзя было добавить без пересечения с имеющимися. Для решения был выбран метод триангуляция Делоне как наиболее адекватный поставленной цели [4, 5].

Заданную точку расчетной сетки соединяли отрезками с вершинами каждого из треугольников. Если площадь исходного треугольника равна сумме площадей образовавшихся трех треугольников: $S = S_1 + S_2 + S_3$, то считали, что точка принадлежит треугольнику. Если $S < S_1 + S_2 + S_3$, то точку не относили к данному треугольнику.

Распределение коэффициента соответствия внутри многоугольника, образуемого точками постов наблюдения, рассматривали как непрерывную функцию двух переменных, которая изменяется линейно в пределах некоторой треугольной области и может быть записана в виде

$$K(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y, \quad (2)$$

где a_0, a_1, a_2 – произвольные постоянные коэффициенты.

Значения функции в вершинах треугольника (коэффициент соответствия на постах, образующих этот треугольник) обозначали как k_1, k_2, k_3 .

С помощью этих значений определяли неизвестные коэффициенты в представлении (2). В итоге получали систему трех линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов a_0, a_1, a_2 :

$$k_i \equiv K(x_i, y_i) = a_0 + a_1x_i + a_2y_i, \quad i = \overline{1, 3}. \quad (3)$$

Решив систему (3), получали однозначное выражение функции (2) через ее узловые значения. В итоге, применяя данный метод, получали значения коэффициентов во всех точках, лежащих внутри многоугольника, образуемого точками постов наблюдения.

Далее производили процедуру экстраполяции значений коэффициента соответствия для точек, лежащих вне полученного многоугольника. Для определения принадлежности точек пространству вне полученного многоугольника применяли изложенный выше метод.

Значения коэффициента соответствия для точек вне многоугольника принимали равными их значениям в ближайшей точке, лежащей на границе полученного многоугольника.

В результате получали аппроксимированные значения коэффициента соответствия во всех узлах регулярной сетки.

После получения поля коэффициентов соответствия производили расчет данных о концентрации вредного вещества по соотношению

$$C^r(x, y) = K(x, y) \cdot C^p(x, y). \quad (4)$$

Разработанный метод верификации позволяет добиться сопряжения расчетных данных и реальных концентраций загрязняющих веществ, полученных с постов наблюдений, что дает возможность более эффективно оценивать реальное распределение загрязнения по урбанизированной территории.

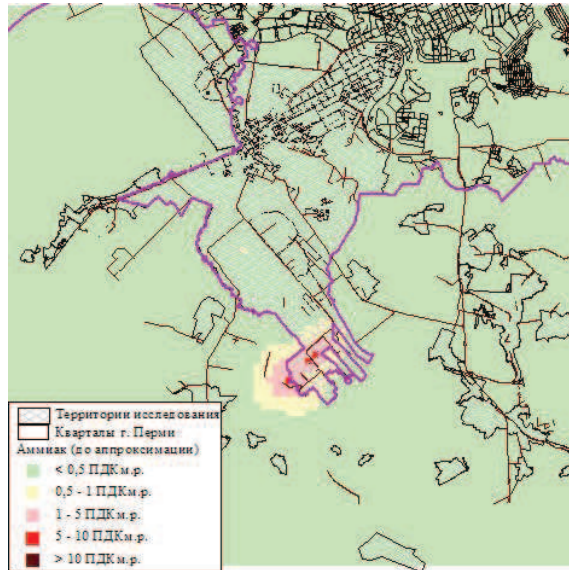
Метод сопряжения расчетных данных и результатов натурных наблюдений был апробирован на крупных урбанизированных территориях Пермского края: городах Губаха, Березники, Чусовой, Соликамск, Пермь.

На всех выбранных территориях выполняются систематические наблюдения за качеством атмосферы на стационарных постах наблюдения и расчеты рассеивания для всей территории с использованием сводной базы данных стационарных и передвижных источников выбросов.

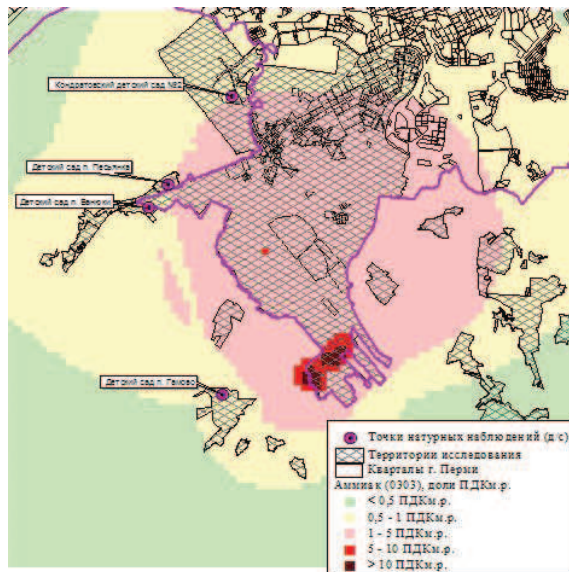
Так, на каждом из 7 постов Росгидромета в г. Перми ежегодно выполняется порядка 900–1000 разовых измерений по 10–12 химическим примесям. Системой социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора выполняются инструментальные измерения еще в 9 точках, дополняющих систему экологического мониторинга. Для расчетов рассеивания сформирована база данных, включающая в себя параметры более 11 тысяч стационарных источников выбросов и 1250 участков улично-дорожной сети города, которая рассматриваются как линейные источники загрязнения атмосферы отработавшими газами автомобилей.

Сопряжение расчетных и натурных данных явилось основной для гигиенической оценки качества атмосферного воздуха города и, прежде всего, мест постоянного проживания населения.

В качестве примера на рис. 1, 2 на примере высоконагруженного участка территории города Перми (промузел «Осенцы») представлены результаты сопряжения расчетных и натуральных концентраций аммиака и акролеина в атмосферном воздухе в виде полей разовых концентраций.

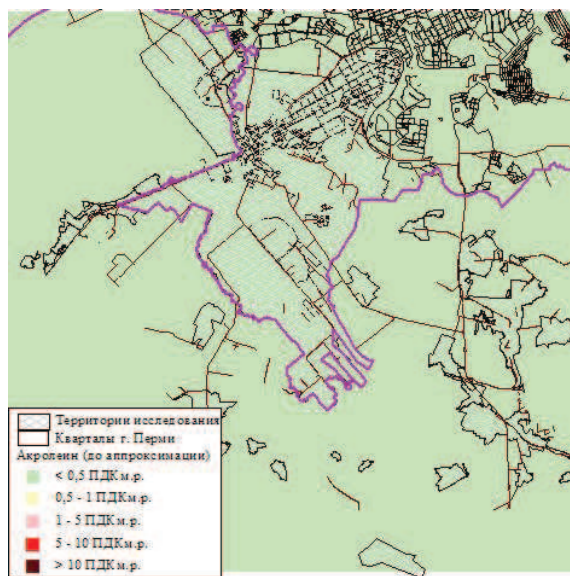


а

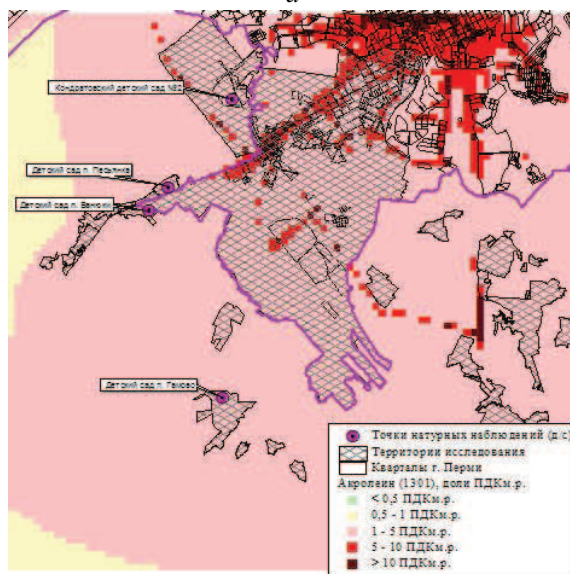


б

Рис. 1. Поля распределения максимальных из разовых концентраций аммиака в зоне влияния промузла «Осенцы» до (а) и после (б) аппроксимации



a



б

Рис. 2. Поля распределения максимальных из разовых концентраций акролеина в зоне влияния промузла «Осенцы» до (а) и после (б) аппроксимации

Максимальные из разовых концентраций аммиака на территории промузла по данным расчетов рассеивания были установлены на уровне менее 0,5 долей ПДКм.р. (см. рис. 1, а), что позволяет оценить территорию как благополучную, не требую-

щую разработки и внедрения санитарно-гигиенических мероприятий.

Вместе с тем в точке размещения поста № 17 Росгидромета (ул. Связьева, 51) и точке системы социально-гигиенического мониторинга (ПГТ Гамово Пермского района) натурными данными были зафиксированы существенно более высокие концентрации аммиака, в том числе на уровне выше ПДК. Сопряжение натуральных и модельных данных позволили получить картину загрязнения (см. рис. 1, б), существенно отличающуюся от предлагаемой программой расчета рассеивания.

По результатам аппроксимации установлено, что в зону загрязнения аммиаком попадают участки селитебных территорий Индустриального района, в том числе деревни Субботино, Устиново и Нестюково, а также Осенцы Пермского района. Концентрации примеси достигают в местах постоянного проживания населения 2,5 долей ПДКм.р., что требует выявления основных причин и источников загрязнения и разработки направленных мероприятий по улучшению условий проживания людей.

Аналогичная ситуация сложилась при анализе результатов сопряжения и аппроксимации расчетных и модельных данных по акролеину (см. рис. 2). Расчетные концентрации акролеина свидетельствуют об отсутствии гигиенических проблем – приземные концентрации не превышают 0,5 ПДКм.р. В ходе инструментальных исследований зарегистрированы концентрации на уровне до 5 ПДКм.р. Согласно имеющимся литературным данным, акролеин в выявленных концентрациях доказанно формирует риски нарушения здоровья в отношении органов дыхания и слизистых оболочек глаз [6–8].

Сопряжение и аппроксимация данных позволили спрогнозировать опасные уровни загрязнения атмосферного воздуха акролеином в зонах жилой застройки, прилегающей к нагруженным транспортным магистралям – шоссе Космонавтов и проспекту Мира.

Совместное влияние выбросов автотранспорта и источников промышленных предприятий формируют значительную зону загрязнения воздуха акролеином, в которой расположены как жилые территории Перми, так и ряд поселений прилегающего Пермского района.

Разработанная методика сопряжения модельных и натуральных результатов оценки загрязнения атмосферы, основанная на

аппроксимации данных методом триангуляции Делоне дала возможность количественно оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха практически на всей площади жилой застройки города. Верификация полученных данных контрольными замерами показала, что сходимость расчетных и натуральных данных возросла до 70–95 % при ранее отмечаемых 8–50 %.

Выявлено, что вблизи промышленных предприятий и крупных автомагистралей могут формироваться приземные концентрации загрязняющих веществ более высокие, чем регистрируются на постах наблюдения. По уточненным данным на территории жилой застройки отмечены зоны с превышением нормативов по свинцу и его соединениям (до 1,4 ПДКс.с.), азота диоксиду (до 11,7 ПДКм.р., 2,6 ПДКс.с.), хлористому водороду (до 6,5 ПДКм.р., 3,6 ПДКс.с.), саже (до 4,5 ПДКм.р.), сероводороду (до 2,2 ПДКм.р.), оксиду углерода (до 6,4 ПДКм.р.), толуолу (до 10,2 ПДКм.р.), бенз(а)пирену (до 5,0 ПДКс.с.), фенолу (до 3,3 ПДКм.р., 9,2 ПДКс.с.), формальдегиду (до 9,0 ПДКм.р., 13,5 ПДКс.с.) и т.п.

Оценка риска для здоровья, выполненная по стандартизованным подходам [9, 10], показала что создаваемые концентрации формируют ингаляционные риски для здоровья населения, выражающиеся в рисках возникновения болезней органов дыхания, иммунной системы, крови и пр. Уровни риска квалифицируются как неприемлемые.

К зонам наибольшего риска для здоровья населения, обусловленного техногенным загрязнением атмосферного воздуха, относятся: центральная часть города, зона микрорайона Нагорный, зона влияния промузла «Пермские моторы–ТЭЦ-6 и пр.», зона влияния промузла Кировского района и зона влияния ОАО «Камский кабель».

На основе сопряжения расчетных и натуральных данных установлено, что из всей совокупности загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу г. Перми, риск для здоровья жителей в основном формируют около 30 контаминантов:

- тяжелые металлы: марганец, хром (6+), никель, медь;
- неорганические соединения: оксиды азота, диоксид серы, аммиак, углерода оксид, сероводород, хлористый водород, серная кислота, пыли, хлор, растворимые соли бария;
- органические вещества: бензол, ксилол, толуол, керосин, бензин, фенол, формальдегид, ацетальдегид.

Достижение безопасного качества среды обитания потребует выполнения мероприятий по снижению выбросов со стороны значительного перечня хозяйствующих субъектов.

К важным результатам исследования следует отнести вывод о том, что базы данных о параметрах стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятий и организаций города, сформированные на основе ведомостей инвентаризации хозяйствующих субъектов, не в полной мере отражают реальную картину загрязнения. В 80 % случаев расчеты рассеивания представляют картину как благополучную, что не совпадает с данными натурных измерений. Принимая во внимание, что материалы инвентаризации лежат в основе нормативов предельно допустимых выбросов, проектов оценки воздействия на окружающую среду и проектов санитарно-защитных зон, требуется серьезная верификация представляемых первичных данных о параметрах выбросов.

При сохранении имеющихся тенденций у хозяйствующих субъектов отсутствует мотивация к разработке мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, а следовательно, по снижению рисков для здоровья населения.

Таким образом, результаты исследования позволяют сделать выводы:

1) использование для гигиенической оценки методики сопряжения расчетных и натурных данных позволяет повысить надежность оценки уровней загрязнения атмосферы в расчетных точках на всей территории с 8–50 до 70–95 %;

2) на текущий момент в местах постоянного проживания населения краевого центра вблизи промышленных предприятий и крупных автомагистралей могут формироваться приземные концентрации загрязняющих веществ более высокие, чем регистрируются на постах наблюдения и создающие риск для здоровья населения на уровне, который квалифицируется как неприемлемый;

3) к зонам наибольшего риска для здоровья населения, обусловленного техногенным загрязнением атмосферного воздуха, относятся центральная часть города, зона микрорайона Нагорный, зона влияния промузла «Пермские моторы–ТЭЦ-6», зона влияния промузла Кировского района и зона влияния ОАО «Камский кабель»;

4) из всей совокупности загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу г. Перми, риск для здоровья жителей в основном формируют около 30 контаминантов, в том числе ряд тяжелых металлов (марганец, хром 6+, никель, медь), неорганических (оксиды азота, пыли, аммиак, хлористый водород и пр.) и органических (бензол, формальдегид, акролеин и пр.) примесей;

5) достижение безопасного качества среды обитания требует от значительного перечня хозяйствующих субъектов краевого центра выполнения мероприятий по снижению выбросов;

6) со стороны хозяйствующих субъектов и контролирующих органов требуется более тщательный и объективный подход к формированию ведомостей инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух как базы для гигиенической оценки ситуации.

Библиографический список

1. Human Exposure Assessment for Airborne Pollutants. Advances and Opportunities / National Academy of Sciences. – Washington, D.C., 1991.

2. WHO (World Health Organization)/ Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series № 23. – WHO Regional Office for Europe Copenhagen, Denmark, 1987.

3. ОНД–86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ / ГГО им. Воейкова. – Л., 1987. – 64 с.

4. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

5. Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф: тез. IX Всерос. конф., Барнаул, 17–22 сент. 2007 г. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 138 с.

6. Human bronchial smooth muscle responsiveness after in vitro exposure to acrolein / A. Ben-Jebria [et al.] // Am. J. Respir. Crit. Care Med. – 1994. – № 149. – P. 382–386.

7. Application of hazard identification information for pollutants modeled in EPA's Cumulative Exposure Project / J. Caldwell, T. Woodruff, R. Morello-Frosch, D. Axelrad // Toxicol. Ind. Health. – 1998. – № 14. – P. 429–454.

8. Clewell H.J., Crump K.S. Quantitative estimates of risk for noncancer endpoints // Risk Anal. – 2005. – № 25. – P. 285–289.

9. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко; НИИ ЭЧ и ГОС. – М., 2002. – 408 с.

10. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. – М., 2004. – 143 с.

Получено 1.11.2011