

УДК 614.71: 711.5

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ЭКСПОЗИЦИИ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ И НАТУРНЫХ ДАННЫХ О КАЧЕСТВЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

**И.В. Май, С.В. Клейн, В.М. Чигвинцев, С.Ю. Балашов**

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий  
управления рисками здоровью населения»,  
Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Для корректной оценки ингаляционной экспозиции населения предложен и апробирован метод сопряжения результатов инструментальных измерений примесей и расчетов рассеивания загрязняющих веществ от выбросов стационарных и передвижных источников. Метод основан на установлении коэффициентов соответствия между расчетными концентрациями и натурными измерениями примесей в конкретных точках (к примеру, в точках постов мониторинга) и решении с использованием полученных коэффициентов задачи аппроксимации пространственных данных. Для этого выполняется решение системы линейных алгебраических уравнений для точек внутри треугольников, образованных на заданной территории методом триангуляции Делоне.

Апробация и верификация метода на примере крупного промышленного центра свидетельствует о повышении в 1,5–4 раза точности прогнозирования приземных концентраций в сравнении с применением метода аппроксимации данных постов наблюдения с помощью обратных расстояний или расчетов рассеивания. Метод обеспечивает более корректное зонирование территории и определение численности населения, находящегося в условиях кратковременного и/или длительного (хронического) воздействия.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, оценка экспозиции, расчет рассеивания, инструментальные измерения, точность прогноза.

Высокое качество оценки экспозиции является неотъемлемой частью корректной оценки риска для здоровья и, соответственно, надежности и правильности всей системы принятия решений, основанных на ее результатах. Ряд отечественных и зарубежных исследований, связанных с анализом риска для здоровья при воздействии веществ, загрязняющих атмосферный воздух, выполнен с использованием расчетов рассеивания выбросов отдельных стационарных источников и автотранспорта или их

совокупности [2, 8]. Расчетная оценка распространения компонентов выбросов обладает рядом положительных сторон: позволяет построить полноценную пространственную модель загрязнения территории, дает возможность определять концентрацию в любой точке изучаемого участка, оценивать изменение концентраций в зависимости от задаваемых метеорологических условий, режимов работы стационарных источников и/или интенсивности транспортных потоков. Анализ карт загрязнения

---

© Май И.В., Клейн С.В., Чигвинцев В.М., Балашов С.Ю., 2013

**Май Ирина Владиславовна** (Пермь, Россия) – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе (e-mail: may@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47).

**Клейн Светлана Владиславовна** (Пермь, Россия) – кандидат медицинских наук, заведующий отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

**Чигвинцев Владимир Михайлович** (Пермь, Россия) – научный сотрудник лаборатории ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: cvm@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

**Балашов Станислав Юрьевич** (Пермь, Россия) – заведующий лабораторией методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертизы (e-mail: stas@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

с учетом расположения жилой застройки обеспечивает возможность оценки распределения экспозиции по численности населения, выделения контингентов с наиболее высокими параметрами экспозиции. Существенно важным является и возможность установления конкретного источника загрязнения воздуха и, в конечном итоге, – риска для здоровья. Недостатком расчетного метода является зависимость истинности получаемых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере от надежности входных параметров, качества выбранной математической модели и достаточности информации для реализации этой модели [8].

Во избежание неточностей расчетных методов ряд ученых применяют прямые инструментальные исследования, которые дают более точные оценки качества окружающей среды [1, 7, 14]. Зачастую таким способом анализа экспозиции отдается предпочтение перед результатами расчетов. Однако следует отметить, что прямое измерение качества среды всегда характеризует ее состояние в данный момент или период времени в конкретной точке территории. Уровень надежности натурных исследований в части оценки пространственных различий точек на территории недостаточно высок и весьма зависит от числа постов наблюдения, расположенных на ней. Для территорий крупных промышленных центров требуется значительное число постов мониторинга, чтобы пространственная картина загрязнения города была достаточно корректна [8, 10]. При этом остается актуальной задача интер- и экстраполяции данных постов мониторинга на прилегающие и отдаленные территории. В литературе описаны методы интерполяции данных (метод обратных расстояний, метод Криге, Шепарда, триангуляции с линейной интерполяцией и т.п.) [3, 12, 13]. В основу методики расчета уровней загрязнения по данным стационарных постов наблюдения Росгидромета положен метод обратных расстояний, который используется в настоящее время наиболее широко при ин-

терпретации данных о качестве атмосферного воздуха, в том числе при расчете фоновых концентраций примесей [10]. Однако все рассмотренные методы ориентированы на преобразование либо только инструментальных, либо только расчетных данных.

В этой связи задача разработки метода, сочетающего положительные стороны расчетного моделирования и инструментальных измерений для адекватной оценки качества атмосферного воздуха на значительной территории, где под воздействием выбросов стационарных и передвижных источников загрязнения проживает значительное число населения, представляется актуальной и перспективной.

**Цель исследования** – разработка и апробация методических подходов к повышению качества оценки ингаляционной экспозиции населения крупного города на основе сопряжения расчетных и натурных данных о качестве атмосферного воздуха.

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследования был выбран г. Пермь – краевой центр, характеризующийся стабильно повышенным уровнем загрязнения атмосферы.

Расчеты рассеивания загрязняющих веществ выполняли с применением унифицированных программ расчетов загрязнения атмосферы «Эколог-город» и «Эколог-средние», которые реализуют математический аппарат ОНД-86 и дополнения к данному документу [5, 6]. Использовали базу данных, состоящую из сведений о 11,2 тысяч стационарных источниках выбросов промышленных предприятий и организаций города. Данные были получены из ведомостей инвентаризации хозяйствующих субъектов (по материалам актуальных проектов предельно допустимых выбросов или санитарно-защитных зон предприятий). Все источники имели привязку к векторной карте города в локальной системе координат и характеризовались геометрическими, аэродинамическими параметрами и данными о массе выброса каждой примеси (г/с, т/год), достаточными для выполнения рас-

четов рассеивания по методике ОНД-86, стандартизованной для Российской Федерации<sup>1</sup>.

Расчеты рассеивания вредных веществ выполняли в семи точках стационарных постов на территории города и в 176 тысячах точек регулярной сетки (расчетный прямоугольник 50500×34800 м) при разных метеорологических условиях и периодах осреднения.

Одновременно, применяя программный комплекс «Магистраль», выполняли расчеты выбросов (г/с, т/год) для 1329 участков улично-дорожной сети (УДС) города с учетом интенсивности, структуры транспортных потоков (рассматриваемые участки составляли 85 % от общей длины УДС города), с учетом почасовой динамики изменчивости указанных параметров потоков.

Данные об измеренных на 7 постах наблюдения Росгидромета разовых, среднесуточных и среднегодовых концентрациях 40 химических примесей были предоставлены Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Информация о концентрациях сопровождалась сведениями о метеопараметрах, при которых были выполнены измерения.

Все исследования осуществлялись с использованием стандартизованных методик и поверенных средств измерения.

Для верификации методики в 14 точках на территории города, не вошедших в расчеты, силами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» и лабораторно-испытательного центра ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» были выполнены дополнительные инструментальные исследования. Расположение постов мониторинга и точек проведения инструментальных замеров приведено на рис. 1. Результаты измерений были предоставлены в виде официально оформленных таб-

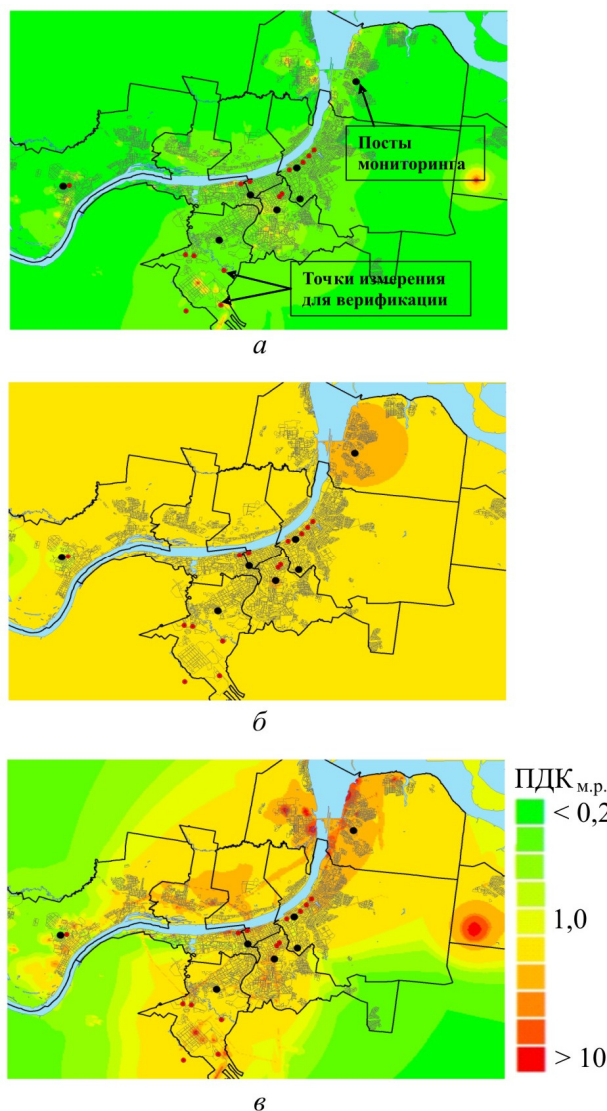


Рис. 1. Пространственное распределения загрязнения атмосферного воздуха г. Перми диоксидом азота (лето 2012 г., штиль, темп. 25–26 °С): по данным расчетов рассеивания (а), с учетом аппроксимации данных постов мониторинга методом обратных расстояний (б), с учетом аппроксимации данных предлагаемым методом (в)

лиц или протоколов исследований. Все точки отборов проб были нанесены на карту территории и имели координатную привязку в городской системе координат.

Для сравнительной оценки предлагаемых подходов выполняли пространственный анализ с использованием методики «обратных расстояний», предложенной в РД 52.04.186-89 [10]. Метод основан на определении «центра тяжести» сети постов наблюдений – точки, координаты которой представляют собой среднее арифметиче-

<sup>1</sup> Технический документ, отражающий сравнение применяемой в Российской Федерации модели с американской Гауссовой моделью расчета загрязнения атмосферы, свидетельствует о том, что результаты расчетов загрязнения воздуха по сравниваемым методикам близки [14].

ское из соответствующих координат постов наблюдений и интерполяции данных внутри окружности радиусом  $1,1R$ , где  $R$  – расстояние между «центром тяжести» и наиболее удаленным постом, по формуле

$$C_{x,y} = \frac{\sum C_k / r_k}{\sum 1 / r_k}, \quad (1)$$

где  $C_k$  – установленные концентрации на  $k$ -м посту наблюдения и в рассматриваемой точке (для соответствующей градации скорости и направления ветра);  $r_k$  – расстояние от рассматриваемой точки  $(x, y)$  до  $k$ -го поста.

Вне окружности проводится экстраполяция по формуле

$$C_{x,y} = \frac{\sum C_k / r_k}{\sum 1 / r_k^0} + c(1 - 1,1 \frac{R}{r^0}), \quad (2)$$

где  $r_k^0$  – расстояние от  $k$ -го поста до точки пересечения окружности и прямой, соединяющей рассматриваемую точку с центром тяжести;  $r^0$  – расстояние от рассматриваемой точки до центра тяжести, а  $c$  – «загородный» фон [8].

Результаты обработки данных отображали в среде геоинформационной системы ArcCGIS 9.3 с применением векторной карты территории. Для оценки экспозиции изолинии уровней загрязнения пересекали с тематическими слоями, характеризующими места размещения детских образовательных учреждений, жилой застройки, зон рекреации и т.п.

**Результаты и их обсуждение.** Предложен метод оценки экспозиции населения на основе сопряжения расчетных и инструментальных данных о качестве атмосферного воздуха [4], который реализуется через следующие последовательные шаги:

- формирование актуальной максимальной полной электронной базы данных о стационарных и передвижных источниках загрязнения атмосферного воздуха на исследуемой территории;

- выполнение расчетов рассеивания по регулярной сетке с возможно частым шагом по прямоугольнику, захватывающему всю исследуемую территорию;

- расчет приземных концентраций в каждой точке, где выполнялись инструментальные исследования. Для аппроксимации среднегодовых данных в качестве таких точек рассматривали места размещения стационарных постов системы Росгидромета, для аппроксимации данных разовых уровней загрязнения – все места проведения инструментальных измерений, в том числе в ходе маршрутных, подфакельных или иных исследований;

- вычисление коэффициентов соответствия в точках проведения инструментальных исследований с целью сопряжения расчетных и натурных концентраций загрязняющих веществ в соответствии с формулой

$$K_i = \frac{C_i^p}{C_i^y}, \quad (3)$$

где  $i$  – номер точки (поста наблюдения);  $C_i^r$  – расчетные концентрации загрязняющего вещества на  $i$ -м посту наблюдений;  $C_i^p$  – фактические концентрации загрязняющего вещества на  $i$ -м посту наблюдений.

Сопоставления расчетных и натурных данных при сопряжении разовых концентраций выполняются только для единообразных метеорологических условий;

- соединение методом триангуляции Делоне точек постов наблюдения непересекающимися отрезками так, чтобы новый отрезок уже нельзя было добавить без пересечения с имеющимися [2];

- определение принадлежности каждой точки, расположенной внутри многоугольника, образуемого внешними точками инструментальных измерений, к одному из получившихся треугольников с условиями: точка соединяется отрезками с вершинами каждого из треугольников; если площадь исходного треугольника равна сумме площадей образовавшихся трёх треугольников  $S = S_1 + S_2 + S_3$ , то считается, что точка принадлежит данному треугольнику; если  $S < S_1 + S_2 + S_3$ , то данная точка не принадлежит данному треугольнику;

- расчет значения коэффициента соответствия во всех точках внутри многоуголь-

ника. Считали, что распределение коэффициента соответствия внутри многоугольника, образуемого точками постов наблюдения, представляет собой непрерывную линейную функцию двух переменных, которая может быть записана в следующем виде:

$$K(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y, \quad (4)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – произвольные постоянные коэффициенты.

Коэффициенты соответствия на постах, образующих треугольник, обозначали как  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ; решение системы трех линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ :

$$k_i \equiv K(x_i, y_i) = a_0 + a_1x_i + a_2y_i, \quad i = \overline{1,3}. \quad (5)$$

Решив систему (5), получали однозначное выражение функции (4) через ее узловые значения и значения коэффициентов во всех точках, лежащих внутри многоугольника, образуемого точками постов инструментальных измерений;

– экстраполяция значений коэффициента соответствия для точек, лежащих вне полученного многоугольника. Значения коэффициента для этих точек принимали равными коэффициентам в ближайшей точке, лежащей на границе многоугольника, образуемого точками инструментальных измерений. В результате получали аппроксимированные значения коэффициента соответствия во всех узлах регулярной сетки;

– вычисление концентраций загрязняющих веществ в каждой расчетной точке на исследуемой территории согласно формуле (4):

$$C^r(x, y) = K(x, y) \cdot C^p(x, y), \quad (6)$$

где  $C^r$  – аппроксимированные концентрации загрязняющего вещества в расчетной точке  $(x, y)$ ;  $K$  – коэффициент соответствия в расчетной точке  $(x, y)$ ;  $C^p$  – суммарные расчетные концентрации (от стационарных источников выбросов и автотранспорта) загрязняющего вещества в расчетной точке  $(x, y)$ .

Полученные результаты представляли собой данные приземных концентраций за-

грязняющих веществ, в том числе в точках регулярной сетки, покрывающей системно всю исследуемую территорию, где интер- и экстраполяция стационарных постов наблюдения скорректированы с учетом особенностей распространения примесей от реальных источников загрязнения атмосферного воздуха – промышленных предприятий, автомагистралей и т.п. В точках инструментальных измерений (постов наблюдения) концентрация всегда имела истинное измеренное значение (для заданных метеорологических условий), а изменение содержания примесей по территории было учтено через результаты моделирования.

Реализация ряда расчетов для системы точек, покрывающих всю территорию города, и направленные натурные исследования позволили получить данные для сравнительного анализа результатов моделирования и инструментальных измерений.

В таблице в качестве примера приведены статистические параметры сравнения прогнозируемых концентраций диоксида азота с измеренными в 14 точках. Для верификации методики были выбраны неблагоприятные метеорологические условия как позволяющие максимально устранить неопределенности, связанные с неустойчивой скоростью и направлением ветра.

Полученные данные свидетельствовали о том, что расчеты рассеивания давали систематически заниженные результаты. Ни в одной из точек не были получены фактические концентрации на уровне или ниже значений, рассчитанных на основе сводной базы данных об источниках. Абсолютная ошибка прогнозируемых уровней колебалась в рамках конкретного исследования в диапазоне от 0,11 до 1,5 ПДК<sub>мр</sub>, что в целом не позволяет использовать эти результаты для надежных оценок риска для здоровья.

Средние абсолютные ошибки метода обратных расстояний, когда используются только данные стационарных постов, и метода сопряжения натуральных и расчетных данных были ниже и составляли по модулю соответственно 0,465 и 0,255 ПДК<sub>мр</sub> при диапазонах ошибок от –0,680 до 1,0 и от –

Погрешности прогноза приземных концентраций диоксида азота в атмосферном воздухе г. Перми (штиль, скорость ветра 0–0,5 м/с, температура воздуха 25–26 °С)

Номер точки	Координаты точки		Измеренное значение, доли ПДК <sub>мр</sub>	Δ (абсолютная ошибка прогноза), ПДК <sub>мр</sub>		
				Расчетный метод	Аппроксимация данных постов методом обратных расстояний	Аппроксимация методом сопряжения расчетных и натурных данных
1	2572	888	1,1000	0,6629	–0,175	0,160
2	3854	1641	1,3200	1,1085	0,511	0,418
3	4395	2285	2,4000	1,1200	1,003	–0,242
4	4884	2883	1,9200	1,0300	0,520	0,200
5	–1086	–305	2,1500	0,8800	0,510	0,290
6	–1926	–547	2,1440	1,5559	0,282	–0,225
7	1671	–1835	0,9500	1,1928	0,710	0,360
8	1915	–1529	1,4500	0,7800	–0,240	0,400
9	–3475	–9303	1,2700	0,9868	–0,429	0,240
10	–7050	–7700	1,4200	1,3041	–0,054	–0,180
11	–6275	–7825	1,9100	1,4654	–0,680	–0,192
12	–7007	–13389	1,3500	1,0912	0,450	0,150
13	–3779	–12804	2,1500	1,3200	–0,590	0,294
14	–11580	2690	1,1000	0,1100	–0,365	–0,240
Средняя абсолютная ошибка ( $ \overline{\Delta} $ )				1,043	0,465	0,255
Среднее квадратичное отклонение ( $\sigma$ )				1,101	0,521	0,2681

0,240 до 0,410 соответственно. При этом среднеквадратичное отклонение, которое характеризует рассеяние вариационного ряда, было почти вдвое ниже при применении разработанного метода. Закономерностей между отклонениями расчетных данных от измеренных значений между результатами, полученными разными методами, установлено не было.

Аналогичные результаты были получены при сопоставлении прогнозных и инструментальных данных по диоксиду серы, фенолу и бензолу. В целом полученные вычисления свидетельствовали о том, что предлагаемые методические подходы позволяют повысить точность оценки содержания загрязняющих примесей в атмосферном воздухе.

Поскольку экспозиция является мерой контакта фактора опасности с человеком, крайне важным с позиций предлагаемого метода представлялся пространственный анализ качества воздуха города и оценка численности населения, проживающего под его воздействием.

Установлено, что сопряжение расчетных и натурных данных существенно изменяло представление о пространственном распределении загрязнения по территории города (см. рис. 1).

Так, было установлено, что зона загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота в период неблагоприятных метеорологических условий формируется на значительно большей территории, чем это прогнозировалось по данным моделирования. Соответственно, численность населения, попадающего в зону экспозиции на уровне выше 1 ПДК<sub>мр</sub>, может составлять более 800 тыс. человек (при количестве порядка 12 тыс. по данным расчетов). Картина загрязнения была существенно более детальна при сравнении аппроксимированных данных с результатами, полученными с применением методов обратных расстояний, в соответствии с которыми практически вся территория города характеризовалась однородным загрязнением на уровне 2–4 ПДК<sub>мр</sub>. Аналогичные результаты были получены при пространственном анализе



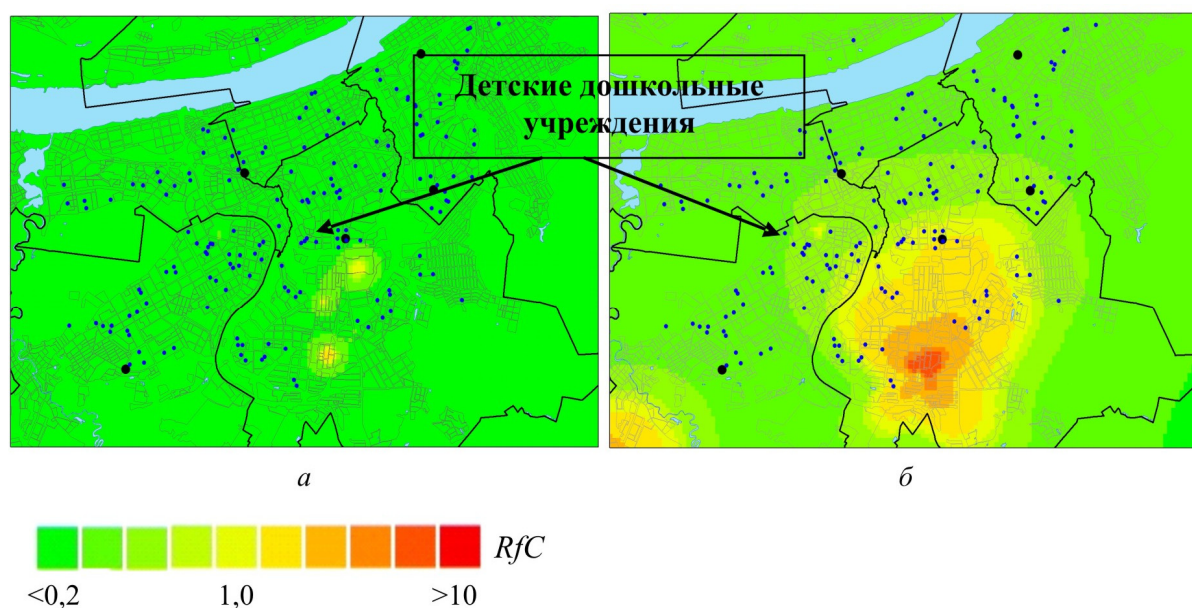


Рис. 2. Зонирование территории города по уровню среднегодовой концентрации фенола в атмосферном воздухе и расположение в зонах различной экспозиции детских дошкольных учреждений по данным расчетов рассеивания (*a*), с учетом аппроксимации данных предлагаемым методом (*б*)

ситуации по другим примесям: оксиду азота, оксиду углерода, аммиаку, хлористому водороду, фенолу.

Существенным результатом применения разработанных подходов представлялось уточнение пространственных характеристик среднегодового загрязнения атмосферного воздуха территории и выделение зон с уровнем экспозиции, позволяющим предполагать недопустимый риск для здоровья населения (рис. 2).

Так, было определено, что в зоне влияния источников выбросов фенола, в условиях среднегодовой приземной концентрации на уровне выше референтного значения для хронических воздействий ( $0,06 \text{ мг/м}^3$ ), расположено более 20 детских дошкольных учреждений и значительная часть жилого фонда одного из районов города.

По результатам сопряженного анализа выделены несколько зон с уровнями среднегодового загрязнения атмосферного воздуха бензолом выше референтных концентраций ( $0,03 \text{ мг/м}^3$ ). Численность населения под этим воздействием составляет более 80 тыс. человек. Выявлены и описаны зоны с экспозицией выше референтных уровней

для хронических воздействий ряда тяжелых металлов, фтористых соединений, сероводорода. Зоны характеризовались различной численностью населения (от 2,0 до 140 тыс. человек) и различными уровнями экспозиции. Однако все эти территории и характеристика проживающего населения требуют проведения углубленных гигиенических исследований, включая оценку рисков для здоровья, и разработки программ профилактических и реабилитационных мероприятий.

В ходе апробации методических подходов определено, что сопряжение расчетных и натурных данных по таким примесям, как формальдегид, хлорид водорода и различные виды пылей для исследуемой территории не представляется целесообразным в силу крайне существенных превышений значений фактически измеренных концентраций над расчетными (коэффициенты соответствия в точках постов мониторинга достигали 200 раз и более при оптимуме = 1,0). Это позволяло предполагать либо низкое качество данных об источниках выбросов, либо необходимость учета таких процессов, как трансформация примесей.

В целом предлагаемые методические подходы, основанные на сопряжении расчетных и инструментальных данных о качестве атмосферного воздуха, обеспечивают повышение точности выполняемых оценок содержания опасных для здоровья загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, повышают надежность пространственного анализа при выделении зон потенциального недопустимого риска для здоровья и установлении численности населения, проживающего под воздействием факторов опасности.

### Список литературы

1. Бережная Е.В. Оценка риска для здоровья населения г. Воронежа при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 1.
2. Бобкова Т.Е. Значение функционального зонирования города // Здоровье населения и среда обитания. – 2009. – № 6. – С. 11–14.
3. Дэвис ДЖ. С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – Т. 1, 2.
4. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Европейская серия. – Региональные публикации ВОЗ. – Прага, 1997. – № 85. – 288 с.
5. Мишина А.Л. использование методологии оценки риска для управления качеством атмосферного воздуха // Здоровье населения и среда обитания. – 2009. – № 6. – С. 26–29.
6. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М., 1991. – 641 с.
7. Санитарно-гигиеническая оценка атмосферного воздуха и оценка канцерогенного риска для здоровья населения в крупном промышленном городе / В.В. Гасилин, Е.П. Бочаров, К.Х. Вахитов, Г.О. Попов, А.А. Айзатуллин // Здоровье населения и среда обитания. – 2013. – № 4 (241). – С. 42–44.
8. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.
9. Центр пространственных исследований. Геостатистический анализ. – URL: <http://www.geointellect.spb.ru/?id=157> (дата обращения: 15.10.2013).
10. Шайгарданова Ч.Х., Хамитова Р.Я. Оценка риска, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха, для здоровья детей дошкольного возраста г. Нижнекамска // Практическая медицина. – 2008. – № 30. – С. 115–116.
11. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Костин Н.В. Методы синтетического картографирования территории (на примере эколого-информационной системы «VOLGABAS») // Количественные методы экологии и гидробиологии: сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова / отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 167–227.
12. Fushimi A., Kawashima H., Kajihara H. Source apportionment based on an atmospheric dispersion model and multiple linear regression analysis // Atmospheric Environment. – 2005. – Т. 39, № 7. – С. 1323–1334.
13. GIS-based national Emission inventory of major VOCs and risk assessment. Part II – Quantitative verification and risk assessment using an air dispersion model / B.K. Kwak, J.H. Kim, J. Yi, H.-S. Park, N.G. Kim, K.A. Choi // Korean Journal of Chemical Engineering. – 2010. – Т. 27, № 1. – P. 121–128.
14. Hanna S.R. Review of atmospheric diffusion models for regulatory applications // WMO Technical Note. – 1982. – № 12.

### References

1. Berezhnaja E.V. Ocenka riska dlja zdorov'ja naselenija g.Voronezha pri vozdejstvii himicheskikh veshhestv, zagraznjajushhih atmosfornyj vozduh [Human health risk assessment of exposure to chemical substances polluting ambient air in the city of Voronezh]. *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii*, 2013, no. 1, pp. 1–6.
2. Bobkova T.E. Znachenie funkcional'nogo zonirovanija goroda [The meaning of urban functional zoning]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija*, 2009, no. 6, pp. 11–14.
3. Djevis DZh. S. Statisticheskij analiz dannyh v geologii [Statistical data analysis in geology]. Moscow: Nedra, 1990. Vol. 1–2.
4. Monitoring kachestva atmosfernogo vozduha dlja ocenki vozdejstvija na zdorov'e cheloveka [Ambient air quality monitoring for health impact assessment]. *Regional'nye publikacii WHO, Evropejskaja serija*, Praga: WHO, 1997, no. 85. 288 p.
5. Mishina A.L. ispol'zovanie metodologii ocenki riska dlja upravlenija kachestvom atmosfernogo vozduha [Using the risk assessment methodology for ambient air quality management]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija*, 2009, no. 6, pp. 26–29.
6. Rukovodstvo po kontrolju zagraznenija atmosfery. RD 52.04.186-89 [Guidelines on air pollution monitoring. RD 52.04.186-89]. Moscow, 1991. 641 p.
7. Gasilin V.V., Bocharov E.P., Vahitov K.H., Popov G.O., Ajzatullin A.A. Sanitarно-gigienicheskaja ocenka atmosfernogo vozduha i ocenka kancerogenного riska dlja zdorov'ja naselenija v krupnom promyshlennom gorode



[Environmental health assessment of ambient air and carcinogenic risk assessment in a large industrial city]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitanija*, 2013, no. 4 (241), pp. 42–44.

8. Skvortsov A.V. Trianguljacija Delone i ee primenenie [Delaunay triangulation and its application]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 2002. 128 p.

9. Centr Prostranstvennyh Issledovanij. Geostatisticheskij analiz [Center for Spatial Research. Geostatistical analysis], available at: <http://www.geointellect.spb.ru/?id=157>.

10. Shajgardanova Ch.H., Hamitova R.Ja. Ocenka riska, obuslovlennogo zagrizneniem atmosfernogo voduza, dlja zdorov'ja detej doskol'nogo vozrasta g.Nizhnekamska [The assessment of a risk related to ambient air pollution in pre-school children in the city of Nizhnekamsk]. *Prakticheskaja medicina*, 2008, no. 30, pp. 115–116.

11. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Kostin N.V.. Metody sinteticheskogo kartografirovanija territorii (na primere jekologo-informacionnoj sistemy "VOLGABAS") [Methods for synthetic mapping of an area (a VOLGABAS environmental information system case study)]. *Kolichestvennye metody jekologii i gidrobiologii (Sbornik nauchnyh trudov, posvjashhennyj pamjati A.I. Bakanova)*. Ed. chl.-korr. RAN G.S. Rozenberg. Tol'jatti: SamNC RAN, 2005, pp. 167–227.

12. Fushimi A., Kawashima H., Kajihara H. Source apportionment based on an atmospheric dispersion model and multiple linear regression analysis. *Atmospheric Environment*, 2005, vol. 39, no. 7, pp. 1323–1334.

13. Kwak B.K., Kim J.H., Yi J., Park H.-S., Kim N.G., Choi K. A GIS-based national Emission inventory of major VOCs and risk assessment. Part II – Quantitative verification and risk assessment using an air dispersion model. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2010, vol. 27, no. 1, pp. 121–128.

14. Hanna, S.R., Review of Atmospheric Diffusion Models for Regulatory Applications. *World Meteorological Organization Technical Note No. 177*, Geneva, Switzerland: WMO, 1982, no. 581. 42 p.

## METHODICAL APPROACHES TO INCREASING THE ACCURACY OF EXPOSURE ASSESSMENT BASED ON THE CONJUGATION OF SIMULATION AND MONITORING DATA ON AMBIENT AIR QUALITY

I.V. May, S.V. Kleyn, V.M. Chigvintsev, S.Yu. Balashov

1 FBSI «Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies», Russian Federation, Perm, 82 Monastyrskaya St., 614045

To make the assessment of human inhalation exposure more accurate, the study proposed and validated a method for the conjugation of data obtained by the monitoring of air pollutants and the calculations of the dispersion of emissions from stationary and mobile sources. The method is based on the determination of the concordance coefficients between the simulation and monitoring of pollutants at certain points (for example in air monitoring stations) and on the solution using the concordance coefficients of a system of linear algebraic equations for points inside triangles produced by Delaunay triangulation in a given area.

The validation and verification of the method in a large industrial center case study suggests a 1.5 to 4 enhancement of the accuracy of forecasting ground level concentrations in comparison with the approximation of the data obtained from monitoring stations by the inverse distance method or dispersion calculations. The method provides a more correct zoning and the determination of the number of individuals residing in an area of short-term and / or long-term (chronic) exposure.

**Key words:** ambient air, exposure assessment, dispersion calculations, monitoring, accuracy of forecasting.

© May I.V., Kleyn S.V., Chigvintsev V.M., Balashov S.Yu., 2013

**Mai Irina Vladislavovna** (Perm, Russia) – DSc, Professor, Deputy Director for Science (e-mail: [may@fcrisk.ru](mailto:may@fcrisk.ru); tel.: 8 (342) 237-25-47).

**Kleyn Svetlana Vladislavovna** – PhD, Head of the Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods (e-mail: [kleyn@fcrisk.ru](mailto:kleyn@fcrisk.ru); tel.: 8 (342) 237-18-04).

**Chigvintsev Vladimir Mikhaylovich** – fellow research of Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: [cvm@fcrisk.ru](mailto:cvm@fcrisk.ru); tel.: 8 (342) 237-18-04).

**Balashov Stanislav Yurjevich** – Head of the Sanitary and Hygienic Analysis and Expert Examinations Laboratory (e-mail: [stas@fcrisk.ru](mailto:stas@fcrisk.ru); tel.: 8 (342) 237-18-04).