

## К ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ФОРМАЛЬДЕГИДОМ КАК ФАКТОРА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ИЖЕВСКА

И. Л. Малькова, А. В. Семакина

*Удмуртский государственный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 27 октября 2015 г.*

**Аннотация:** Дается пространственно-временной анализ загрязнения формальдегидом атмосферного воздуха города Ижевска. Индекс общетоксического ингаляционного риска по формальдегиду сопоставлен с уровнем заболеваемости детского населения.

**Ключевые слова:** формальдегид, Ижевск, индекс неканцерогенного риска здоровью населения.

**Abstract:** A spatial and temporal analysis of pollution of atmospheric air of the city of Izhevsk with formaldehyde. The index of general toxic inhalation risk to formaldehyde is associated with the incidence of child population.

**Key words:** formaldehyde, Izhevsk, index of general toxic inhalation risk.

На территории Удмуртской Республики 62 % городского населения проживает в условиях загрязнения атмосферного воздуха, классифицируемого как высокое и очень высокое [7]. Среди приоритетных загрязняющих веществ в последние годы особую тревогу вызывают высокие концентрации формальдегида (рис. 1).

Необходимо отметить, что проблема загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом является актуальной не только для города Ижевска, но и для других городов Российской Федерации. Так, в 2014 году, из 19 городов РФ с наибольшими уровнями загрязнения атмосферного воздуха, загрязнение атмосферы 11 городов связано, в том числе, с присутствием такой примеси как формальдегид, а 6 городов – в основном с загрязнением формальдегидом. В то же время в 2013 году 29 городов из приоритетного списка характеризовались значительным вкладом формальдегида в загрязнение атмосферного воздуха. Такое изменение уровня загрязнения связано не с уменьшением концентраций формальдегида, а с директивным увеличением с 25 июля 2014 года среднесуточной предельно-допустимой концентрации (ПДКс.с.) в 3 раза [9]. Таким образом, ряд городов (Салехард, Ханты-Мансийск, Москва) входившие в приоритетный список в 2013 году, несмотря на продолжающийся рост концентраций формальдегида (Москва), в

2014 году характеризуются низкими уровнями загрязнения [3].

Детальное исследование уровней и факторов загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом проводилось как для территории России в целом [1], так и для отдельных городов: Самара [12], Иркутск [2], Волгодонск [13]. Во всех указанных информационных источниках отмечается особая роль в формировании высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха процессов вторичного образования формальдегида из производных углеводородов (метан, этан, этилен, пропилен, изопрен, терпены, метанол, диметилсульфид, стирол, толуол) в условиях повышенных температур [8].

Сеть мониторинга за состоянием атмосферного воздуха в городе Ижевске включает всего 6 постов наблюдения. При этом замеры концентрации формальдегида осуществляются только на двух из них. Это не позволяет территориально дифференцировать результаты замеров и провести достоверный пространственный анализ ситуации.

В 2014 году сотрудниками кафедры Экологии и природопользования Удмуртского госуниверситета было проведено дополнительное исследование состояния воздушного бассейна города. Исследования проводились на предмет определения среднесуточных концентраций по следующим веществам: углеводороды предельные (C1-C10), углерода оксид (СО), формальдегид (НСОН), азота диоксид (NO<sub>2</sub>). Отбор проб проводился согласно

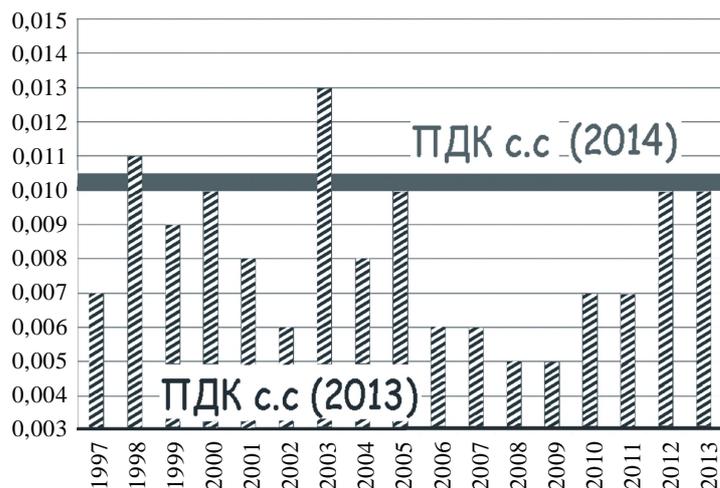


Рис 1. Концентрация формальдегида в городе Ижевске, мг/м<sup>3</sup> (по данным Удмуртского ЦГМС)

программе эпизодических исследований при помощи аккредитованного газоанализатора ГАНК-4 [10]. Замеры осуществлялись в течение 10 дней в апреле, августе и декабре, 3 раза в сутки (утром, днем и вечером) по маршруту в установленной последовательности. Общее количество замеров составило около 4500. Отбор проб на первой точке утреннего маршрута начинался в 6.00, дневного – в 12.00, вечернего – в 18.00. Одновременно с отбором проб определялись метеорологические показатели (влажность, атмосферное давление, направление ветра и скорость ветра), происходил подсчет интенсивности транспортного потока (с учетом структуры потока) в точках, расположенных на автодорогах.

Замеры, проведенные параллельно на пунктах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха Удмуртского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УЦГМС), показали сходимость замеренных концентраций загрязняющих веществ (углерод оксид, азота диоксид, предельные углеводороды и формальдегид).

С учетом среднесуточных концентраций формальдегида, был рассчитан ингаляционный общетоксический риск для здоровья детского населения города Ижевска. Основные положения этой методологии закреплены в документе Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (утверждено главным государственным санитарным врачом РФ Г. Г. Онищенко 05.03.2004 г.) [11]. Согласно данному руководству под оценкой риска для здоровья понимается процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья человека

или здоровья будущих поколений, обусловленных воздействием факторов среды обитания. Данная методика позволяет не только выявить неблагоприятные в эколого-гигиеническом отношении территории, но и спрогнозировать неблагоприятные последствия для здоровья населения, что необходимо для принятия превентивных мер.

Характеристика риска развития неканцерогенных (общетоксических) эффектов при ингаляционном воздействии для отдельных веществ проводится на основе расчета коэффициента опасности по формуле:

$$HQ = AC / RfC,$$

где  $HQ$  – коэффициент опасности;  $AC$  – средняя концентрация, мг/м<sup>3</sup>;  $RfC$  – референтная (безопасная) концентрация, мг/м<sup>3</sup>.

Если коэффициент опасности не превышает единицу, то вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни незначительна, и такое воздействие характеризуется как допустимое. Как опасный, рассматривается коэффициент опасности более единицы.

Время проявления токсического эффекта рассчитывается по формуле:

$$T = 10^{[lg(T_0) - lg(C / ПДК) * v]},$$

где  $T_0$  – «опасное» время (1/3 средней продолжительности жизни человека, т.е. в среднем 25 лет);  $v$  – коэффициент изоэффективности, значение которого зависит от класса опасности загрязняющего вещества;  $C$  – концентрация загрязняющего вещества, мг/м<sup>3</sup>.

Оценка времени проявления потенциального общетоксического риска имеет следующую градацию: 1) опасный – менее 25 лет, 2) вызывающий

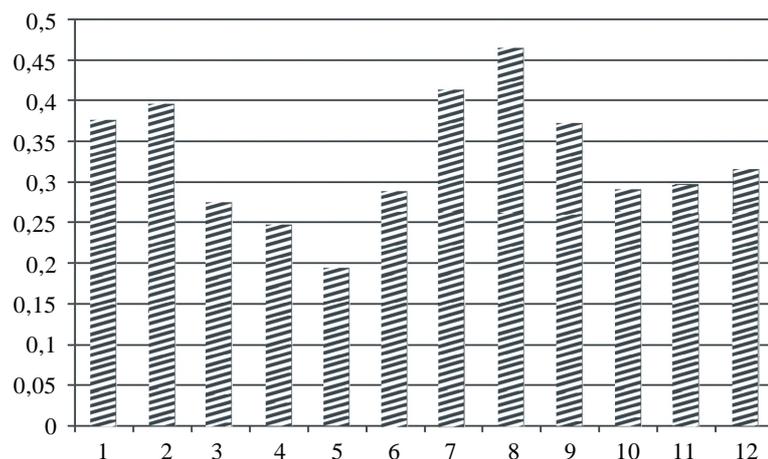


Рис. 2. Годовой ход метеорологического потенциала загрязнения атмосферного воздуха в городе Ижевск

опасение – 25-45 лет, 3) вызывающий беспокойство – 45-70 лет, 4) допустимый (неопасный) – более 70 лет.

Расчет проводился на базе программного обеспечения EXCEL (версия 11.0). Территориальный анализ осуществлялся посредством применения методов крупномасштабного медико-экологического картографирования на уровне 150 педиатрических участков обслуживания десяти городских детских поликлиник. Для построения карт, отображающих территориальное распределение риска и уровня заболеваемости детей использовалась программа MapInfo Professional 7.0.

Данные о количестве заболеваний, зарегистрированных у больных, были предоставлены статистическими отделами городских детских поликлиник в виде формы № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания лечебного учреждения. Дети до 14 лет включительно». Рассчитывались среднегодовые относительные (на 1000 населения соответствующего возраста) значения заболеваемости по классу органы дыхания для каждого педиатрического участка и для каждой детской поликлиники.

Комплексный индекс загрязнения атмосферного воздуха (КИЗА), рассчитанный, исходя из концентраций приоритетных примесей, по данным мониторинга в 2014 году составил 2,35 [4]. В то же время, уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Ижевск в 2013 году характеризовался как высокий (КИЗА = 8) [5]. Такое существенное изменение показателя уровня загрязнения атмосферного воздуха, связано с увеличением значения предельно-допустимой концентрации (ПДК) формальдегида с 0,003 мг/м<sup>3</sup> до 0,01 мг/м<sup>3</sup>. При этом, вклад формальдегида в расчетные значения КИЗА, по

данным мониторинга, снизился за год с 4,3 до 1,13. При этом, даже с учетом увеличения пороговой величины ПДК, формальдегид входит в число приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха на территории города Ижевска.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы для города Ижевска, рассчитанный по данным инструментальных замеров, проведенных в 2014 году, оказался несколько выше, чем по официально публикуемым данным, и составил 4,9. КИЗА для точек, расположенных вблизи автодорог, показал значение равное 6,2, а для внутриквартальных территорий – 3,6. При этом следует отметить, что в формировании значений КИЗА 35 % приходится на формальдегид. Это соотношение сохраняется как для точек, расположенных вблизи автодорог, так и для точек, расположенных внутри жилой зоны. На всех точках отбора проб из четырех измеряемых загрязняющих веществ наибольшие превышения ПДКсс были зафиксированы для формальдегида.

Для внутриквартальных территорий концентрации формальдегида в теплый и холодный период практически неизменны (3,62 и 3,68 ПДК соответственно). В то же время, для точек, расположенных вблизи автодорог, эти значения отличались существенно. В холодный период средние концентрации составили 5,86 ПДК, а в теплый – 9,77 ПДК. Таким образом, средние концентрации формальдегида за летний период превысили аналогичные значения в зимний период в 1,4 раза. Это обусловлено как увеличением интенсивности транспортного потока, так и более низкой самоочищающей способностью атмосферного воздуха в этот период. Метеорологический потенциал загрязнения атмосферы в городе Ижевск в теплый период года выше, особенно в июле и августе (рис. 2).

Изменение средних концентраций формальдегида в течение суток в целом характеризуется повышением значений утром и вечером (5,83 и 6,87 ПДК, соответственно) и относительным снижением днем (4,89 ПДК). Эти изменения можно связать с активизацией такого источника поступления формальдегида в атмосферный воздух как автотранспорт, интенсивность выбросов от которого возрастает в утренние и вечерние «часы пик». Утренние и вечерние концентрации формальдегида в зимний период в целом совпадают. В летний период вечерние концентрации превышают утренние в 1,4 раза. Вечером для точек, находящихся вблизи автодорог, отмечалось увеличение уровня загрязнения воздуха формальдегидом до 13,1 ПДК.

Выявленные пространственно-временные закономерности свидетельствуют о возможном вторичном образовании формальдегида под воздействием высоких температур [6] в летнее время из углеводов, поступающих в атмосферу с выбросами автотранспорта. Подтверждением данного предположения является снижение концентрации углеводов (как производных в реакции вторичного образования формальдегида) вечером в теплый период времени.

Таким образом, пространственно-временной анализ загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом показал, что наивысшие концентрации отмечаются вечером вблизи автодорог в теплый период времени.

Расчитанный индекс общетоксического ингаляционного риска по формальдегиду превысил порог безопасных значений во всех точках отбора проб. Вблизи автодорог значения достигают чрезвычайно высокого уровня, а именно: от 5 до 11. В августе были зафиксированы значения от 10 до 21. Исходя из среднегодовых концентраций формальдегида по данным Удмуртского ЦГМС вероятность риска за последние три года выросла в два раза (с 1,7 до 3,4).

С 2004 года уровень неканцерогенного ингаляционного риска в города Ижевск снизился по всем замеряемым веществам, кроме формальдегида. Время наступления потенциального токсического эффекта на тот момент составляло от 51 до 87 лет по территории города. По данным замеров на стационарных пунктах наблюдения к 2014 году этот период снизился более чем в 2 раза и достиг опасного уровня в центральной части города.

Территориальное сопоставление индексов неканцерогенного риска и уровня заболеваемости детского населения (по данным 150 педиатричес-

ких участков обслуживания) показало достаточно тесную корреляционную связь со значениями риска по формальдегиду. Связь с уровнем общей заболеваемости составила 0,54, с заболеваемостью органов дыхания – 0,52. При этом более тесная связь проявилась в пределах поликлиник, обслуживающих центральную часть города. Наиболее высокий риск и наиболее высокий уровень заболеваемости детского населения фиксируется в пределах педиатрических участков, непосредственно примыкающих к крупным перекресткам автодорог. При выраженном росте автопарка в городе ситуация в ближайшие годы может существенно ухудшиться.

Таким образом, в ходе проведенного исследования выявился ряд экологических проблем. Во-первых, следует отметить, что существующая на сегодняшний день сеть пунктов мониторинга за загрязнением воздушного бассейна города Ижевск, к сожалению, не учитывает изменений последних десятилетий в структуре выбросов. Это не позволяет провести качественный пространственно-временной анализ состояния воздушного бассейна города, особенно с учетом таких опасных загрязнителей как формальдегид и бенз(а)пирен. Во-вторых, необходимы дополнительные исследования по изучению возможных процессов вторичного образования формальдегида, основанных на балансе «углеводороды-формальдегид», при конкретизации масштабов эмиссии формальдегида от стационарных и передвижных источников для города Ижевск и выявлении корреляционных связей с метеорологическими параметрами. В-третьих, при градостроительной планировке следует учитывать тот факт, что дальнейшая уплотнительная застройка центральной части республиканского центра приведет как к увеличению объемов выбросов от автотранспорта, так и к снижению аэрации территории, что еще в большей степени увеличит вероятность общетоксического риска для здоровья населения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э. Ю. Исследование химических процессов по данным мониторинга в городах / Э. Ю. Безуглая, И. В. Смирнова – <http://www.sir35.ru/formaldegid-osnovnie-svedeniya-godovoie-xod-koncentracii.html> – (дата обращения к источнику 01.10.2015)
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды в Иркутской области в 2014 г. – Иркутск : Форвард, 2015. – 327 с.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в РФ в 2014 г. – Москва : НИИ-Природа, 2015. – 639 с.

4. Государственный доклад о состоянии окружающей среды в УР в 2014 г. – Ижевск : Издательство Ижевского государственного технического университета, 2015. – 261 с.

5. Государственный доклад о состоянии окружающей среды в УР в 2013 г. – Ижевск : Издательство Ижевского государственного технического университета, 2014. – 141 с.

6. Мониторинг формальдегида в атмосферном воздухе в городах Российской Федерации / К. И. Трифонов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1(7). – С. 1862-1865.

7. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды на территории Российской Федерации за 2013 г. – Москва : Росгидромет, 2014. – 227 с

8. Обследование населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа для определения источников повышенного содержания формальдегида в атмосферном воздухе. – <http://refdb.ru/look/2002247.html> – (дата обращения к источнику 01.10.2015)

9. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 17.06.2014 N 37 «О внесении изменения N 11 в ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

10. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». – Москва, 1991.

11. Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». – Москва, 2004.

12. ФГБУ «Приволжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Формальдегид в атмосферном воздухе Самары, Комарова С. И. – <http://www.pogoda-sv.ru/publications/548> – (дата обращения к источнику 01.10.2015)

13. Экологический вестник Дона. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2011 году. – Ростов-на-Дону : ООО «Синтез технологий», 2012. – 360 с.

## REFERENCES

1. Bezuglaya E. Yu. Issledovanie khimicheskikh protsessov po dannym monitoringa v gorodakh / E. Yu. Bezuglaya, I. V. Smirnova – <http://www.sir35.ru/formaldegid-os>

novnie-svedeniya-godovoie-xod-koncentracii.html] – (data obrashcheniya k istochniku 01.10.2015)

2. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey prirodnoy sredy v Irkutskoy oblasti v 2014 g. – Irkutsk : Forvard, 2015. – 327 s.

3. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy v RF v 2014 g. – Moskva : NIA-Priroda, 2015. – 639 s.

4. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy v UR v 2014 g. – Izhevsk : Izdatel'stvo Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2015. – 261 s.

5. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy v UR v 2013 g. – Izhevsk : Izdatel'stvo Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2014. – 141 s.

6. Monitoring formal'degida v atmosfernom vozdukh v gorodakh Rossiyskoy Federatsii / K. I. Trifonov [i dr.] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. – 2014. – Т. 16, № 1(7). – С. 1862-1865.

7. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2013 g. – Moskva : Rosgidromet, 2014. – 227 s.

8. Obsledovanie naselennykh punktov Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga dlya opredeleniya istochnikov povyshennogo soderzhaniya formal'degida v atmosfernom vozdukh. – <http://refdb.ru/look/2002247.html> – (data obrashcheniya k istochniku 01.10.2015)

9. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 17.06.2014 N 37 «O vnesenii izmeneniya N 11 v GN 2.1.6.1338-03 «Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh naselennykh mest».

10. RD 52.04.186-89 «Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery». – Moskva, 1991.

11. R 2.1.10.1920-04 «Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu». – Moskva, 2004.

12. FGBU «Privolzhskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy», Formal'degid v atmosfernom vozdukh Samary, Komarova S.I. – <http://www.pogoda-sv.ru/rublications/548> – (data obrashcheniya k istochniku 01.10.2015)

13. Ekologicheskii vestnik Dona. O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Rostovskoy oblasti v 2011 godu. – Rostov-na-Donu : ООО «Sintez tekhnologii», 2012. – 360 s.

Малькова Ирина Леонидовна  
кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Удмуртского государственного университета, г. Ижевск, т. (3412) 91-64-33, E-mail: [mi.izhevsk@mail.ru](mailto:mi.izhevsk@mail.ru)

Семакина Алсу Валерьевна  
кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Удмуртского государственного университета, г. Ижевск, E-mail: [alsen13@list.ru](mailto:alsen13@list.ru)

Mal'kova Irina Leonidovna  
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Chair of Ecology and Nature Management, Udmurt State University, Izhevsk, tel. (3412) 91-64-33, E-mail: [mi.izhevsk@mail.ru](mailto:mi.izhevsk@mail.ru)

Semakina Alsu Valer'yevna  
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Chair of Ecology and Nature Management, Udmurt State University, Izhevsk, E-mail: [alsen13@list.ru](mailto:alsen13@list.ru)