

© Коллектив авторов, 2022

УДК 614.71; 543.26



Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью

Е.Л. Овчинникова^{1,2}, С.В. Никитин¹, А.С. Колчин², Ю.А. Новикова³, В.Н. Федоров³, А.С. Крига⁴, О.В. Плотникова², М.Н. Черкашина¹, И.Г. Винокурова¹, Н.П. Шмакова¹

¹ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области»,

ул. 27-я Северная, д. 42А, г. Омск, 644116, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России,

ул. Ленина, д. 12, г. Омск, 644099, Российская Федерация

³ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, ул. 2-я Советская, д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

⁴Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области, ул. 10 лет Октября, д. 98, г. Омск, 644001, Российская Федерация

Резюме

Введение. Существует проблема практического применения методов обработки величин концентраций загрязняющих веществ ниже предела обнаружения методов химического анализа, полученных в ходе лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха, что, в свою очередь, увеличивает неопределенности при оценке риска здоровью. Федеральный проект «Чистый воздух» повысил правовую значимость оценки риска здоровью и актуальность межведомственной согласованности при проведении мониторинговых мероприятий.

Цель исследования состояла в проведении обзора методических подходов по обработке результатов лабораторных исследований, полученных в ходе мониторинга качества атмосферного воздуха, и разработке предложений по снижению неопределенностей.

Материалы и методы. Проведен анализ методов обработки величин концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, находящихся ниже предельных значений обнаружения методов количественного химического анализа. Оценивались методы обработки величин концентраций, предложенные Европейским бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды, отечественными исследователями. Оценка риска здоровью населения с использованием средних концентраций поллютантов, полученных разными методами проводилась в соответствии с Руководством Р 2.1.10.1920-04. В качестве материалов были использованы результаты лабораторных исследований атмосферного воздуха города Омска за 2020 год, полученные при проведении социально-гигиенического и экологического мониторингов.

Результаты. Разные методы обработки результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха показали разные величины средних концентраций химических веществ, значения рисков здоровью – от допустимых до настораживающих уровней. Исходя из полученных расчетов установлено, что некоторые методы количественного химического анализа в отношении ряда приоритетных загрязняющих веществ некорректно использовать для целей оценки риска. Например, фотометрический метод определения содержания формальдегида в атмосферном воздухе для целей оценки канцерогенного риска неприемлем и приводит к необоснованному завышению значений.

Заключение. Предложены критерии для выбора методов лабораторных исследований атмосферного воздуха с учетом расчетных значений нижних величин количественного определения загрязняющих веществ. Даны предложения по оптимизации процедур обработки результатов лабораторных исследований атмосферного воздуха для корректного расчета рисков, гармонизации межведомственных подходов.

Ключевые слова: лабораторный мониторинг, загрязнение атмосферного воздуха, проект «Чистый воздух», риск здоровью, количественный химический анализ.

Для цитирования: Овчинникова Е.Л., Никитин С.В., Колчин А.С., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Крига А.С., Плотникова О.В., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г., Шмакова Н.П. Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 3. С. 36-43. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>

Сведения об авторах:

✉ **Овчинникова** Елена Львовна – к.м.н., доцент ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: el-omsk@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9970-7617>.

Никитин Сергей Владимирович – к.м.н., главный врач ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области»; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8629-2264>.

Колчин Андрей Сергеевич – к.м.н., доцент ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: kandsmed@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5149-1784>.

Новикова Юлия Александровна – научный сотрудник, исполняющий обязанности руководителя отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: j.novikova@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-2036>.

Федоров Владимир Николаевич – научный сотрудник отделения анализа, оценки и прогнозирования отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; e-mail: vf1986@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1378-1232>.

Крига Александр Сергеевич – к.м.н., руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области; e-mail: rpn@55.rosпотребнадzor.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2597-6662>.

Плотникова Ольга Владимировна – д.м.н., доцент, заведующая кафедрой ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: olga.plotnikova7@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0696-3516>.

Черкашина Марина Николаевна – заведующая отделом организации и обеспечения деятельности ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области»; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9649-8784>.

Винокурова Ирина Гавриловна – заведующая отделением социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области»; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9712-9673>.

Шмакова Наталья Петровна – заведующая отделом лабораторного контроля ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области»; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7284-4120>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Никитин С.В., Крига А.С., Овчинникова Е.Л., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Плотникова О.В.; сбор данных: Федоров В.Н., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г., Шмакова Н.П.; анализ и интерпретация результатов: Овчинникова Е.Л., Колчин А.С.; обзор литературы: Овчинникова Е.Л., Колчин А.С.; подготовка рукописи: Овчинникова Е.Л., Колчин А.С. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Статья получена: 21.12.21 / Принята к публикации: 04.03.22 / Опубликована: 31.03.22

Methodological Approaches to Processing Laboratory Results of Ambient Air Quality Monitoring for the Purposes of Human Health Risk Assessment

Elena L. Ovchinnikova,^{1,2} Sergey V. Nikitin,¹ Andrei S. Kolchin,² Yuliya A. Novikova,³ Vladimir N. Fedorov,³ Alexander S. Kriga,⁴ Olga V. Plotnikova,² Marina N. Cherkashina,¹ Irina G. Vinokurova,¹ Natalya P. Shmakova¹

¹Center for Hygiene and Epidemiology in the Omsk Region, 42A 27th Severnaya Street, Omsk, 644116, Russian Federation

²Omsk State Medical University, 12 Lenin Street, Omsk, 644099, Russian Federation

³North-West Public Health Research Center, 4 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

⁴Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Omsk Region, 98 10 Let Oktyabrya Street, Omsk, 644001, Russian Federation

Summary

Introduction: The problem of practical application of recommended methods of processing ambient air pollutant concentrations below the limit of detection in chemical analysis raises uncertainties in human health risk assessment. The Federal Clean Air Project has increased legal significance of the latter and the relevance of interdepartmental cooperation in air monitoring activities.

Objective: To review methodological approaches to handling ambient air quality test results and to develop proposals for uncertainty reduction in human health risk assessment.

Materials and methods: We analyzed ways of dealing with values of ambient air pollutant concentrations lying below the limit of quantification of various analytical chemistry methods proposed by the European Bureau for Integrated Pollution Prevention and Control and Russian researchers. A human (population) health risk assessment was conducted based on air quality parameters obtained in 2020 within environmental and public health monitoring in the city of Omsk using averaged concentrations of airborne pollutants measured by different techniques in accordance with national guidelines R 2.1.10.1920-04.

Results: Different approaches to processing air quality test results produced different averaged pollutant concentrations accounting for health risk values ranging from the acceptable level to that of concern. Our estimates showed that certain techniques of quantitative chemical analysis of priority air contaminants are inappropriate for the purposes of human health risk assessment. Photometry, for instance, was found unacceptable for measuring ambient concentrations of formaldehyde to assess carcinogenic risks due to unreasonable overestimation of the latter.

Conclusions: We have proposed criteria for selecting appropriate methods of air quality testing based on estimated values of the lower limit of quantification of chemicals and for optimizing procedures of processing test results for correct assessment of health risks and harmonization of interdepartmental approaches.

Keywords: laboratory monitoring, ambient air pollution, Federal Clean Air Project, health risk, quantitative chemical analysis.

For citation: Ovchinnikova EL, Nikitin SV, Kolchin AS, Novikova YuA, Fedorov VN, Kriga AS, Plotnikova OV, Cherkashina MN, Vinokurova IG, Shmakova NP. Methodological approaches to processing laboratory results of ambient air quality monitoring for the purposes of human health risk assessment. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022; 30(3):36-43. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>

Author information:

✉ Elena L. Ovchinnikova, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Omsk State Medical University; e-mail: el-omsk@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9970-7617>.

Sergey V. Nikitin, Cand. Sci. (Med.), Head Doctor, Center for Hygiene and Epidemiology in the Omsk Region; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8629-2264>.

Andrei S. Kolchin, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Omsk State Medical University; e-mail: kandsmed@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5149-1784>.

Yuliya A. Novikova, Researcher, Acting Head of the Department of Environmental and Public Health Research in the Arctic Zone of the Russian Federation, North-West Public Health Research Center; e-mail: j.novikova@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-2036>. Vladimir N. Fedorov, Researcher of Analysis, Assessment and Forecasting Unit, Environmental and Public Health Research in the Arctic Zone of the Russian Federation, North-West Public Health Research Center; e-mail: vf1986@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1378-1232>.

Alexander S. Kriga, Cand. Sci. (Med.), Head of the Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Omsk Region; e-mail: rpn@55.rosпотреbnadzor.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2597-6662>.

Olga V. Plotnikova, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department, Omsk State Medical University; e-mail: olga.plotnikova7@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0696-3516>.

Marina N. Cherkashina, Head of the Department of Organization and Provision of Activities, Center for Hygiene and Epidemiology in the Omsk Region; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9649-8784>.

Irina G. Vinokurova, Head of the Department of Socio-Hygienic Monitoring, Center for Hygiene and Epidemiology in the Omsk Region; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9712-9673>.

Natalya P. Shmakova, Head of the Laboratory Control Department, Center for Hygiene and Epidemiology in the Omsk Region; e-mail: fbuz55@mail.omsksanepid.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7284-4120>.

Author contributions: study conception and design: Nikitin S.V., Kriga A.S., Ovchinnikova E.L., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Plotnikova O.V.; data collection: Fedorov V.N., Cherkashina M.N., Vinokurova I.G., Shmakova N.P.; analysis and interpretation of results: Ovchinnikova E.L., Kolchin A.S.; literature review: Ovchinnikova E.L., Kolchin A.S.; draft manuscript preparation: Ovchinnikova E.L., Kolchin A.S. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: December 21, 2021 / Accepted: March 4, 2022 / Published: March 31, 2022

Введение. Информационный фонд данных социально-гигиенического мониторинга предполагает объединение различных ведомственных баз данных по результатам натурных лабораторно-инструментальных исследований для задач оценки риска здоровью населению¹, в том числе данных маршрутных и стационарных постов Росгидромета²

Многие исследователи используют результаты лабораторных исследований различных ведомств для целей оценки риска здоровью [1, 2]. В то же время разные ведомства могут использовать в своей профессиональной деятельности разные методы количественного химического анализа содержания одних и тех же загрязняющих веществ (ЗВ)

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 02 февраля 2006 года № 60 «Об утверждении положения о проведении социально-гигиенического мониторинга».

² Законодательное и методическое обеспечение лабораторного контроля за факторами среды обитания при проведении социально-гигиенического мониторинга (письмо Роспотребнадзора № 01/870-16-32 от 28.01.2016).

в атмосферном воздухе, методики отбора проб и их исследований, применять различные статистические приемы обработки полученных результатов, наконец, руководствоваться разными целями по использованию полученных результатов [3, 4].

Целесообразно предположить, что для решения задач по оценке риска здоровью населения требуется межведомственная гармонизация методов химического анализа и методик измерения ЗВ в атмосферном воздухе. Ведущие эксперты отмечают, что значительным прорывом в области управленческой деятельности может стать характеристика интегрального (кумулятивного) риска, включающая одновременную оценку как риска здоровью населения, так и экологического риска [5–9]. Концепция развития социально-гигиенического мониторинга формулирует в числе прочих задачу по созданию интегрированной межведомственной национальной системы оценки и управления рисками³.

Федеральный проект «Чистый воздух» повысил актуальность межведомственного взаимодействия и согласованности в мониторинговых мероприятиях и, помимо снижения выбросов ЗВ, декларирует важный результат проекта – создание системы анализа качества атмосферного воздуха, использующей данные национальной системы мониторинга и социально-гигиенического мониторинга⁴. Кроме того, эксперимент по квотированию приоритетных веществ увеличил правовую значимость оценки риска здоровью, определил ее межведомственный характер⁵.

В то же время и на ведомственном уровне остаются вопросы в области обработки данных результатов лабораторных исследований, проводимых в рамках социально-гигиенического мониторинга для целей оценки риска здоровью. В частности, нет ясности, как оценивать величины концентраций того или иного вещества ниже значений предела обнаружения методов химического анализа; какие методы и методики исследования ЗВ в атмосферном воздухе пригодны для корректной оценки риска здоровью. Некоторые эксперты отмечают, что даже при концентрациях химического вещества, находящихся на уровне нижнего предела обнаружения целого ряда методов и методик, уровни канцерогенного и неканцерогенного риска оцениваются как неприемлемые [10–12]. Ряд авторов указывает, что в области мониторинга атмосферного воздуха к основным причинам неопределенностей относится недостаток современного оборудования и официально утвержденных методик для измерения [13].

Цель исследования состояла в проведении обзора существующих методических подходов по обработке результатов лабораторных исследований, полученных в ходе мониторинга качества атмосферного воздуха, и формулировании предложений по оптимизации обработки таких результатов для проведения оценки риска здоровья. Одна из задач исследования заключалась

в разработке критериев для выбора методов химического анализа.

Материалы и методы. В ходе исследования был проведен практический анализ методов обработки величин концентраций ЗВ в атмосферном воздухе, находящихся ниже предельных значений обнаружения методов количественного химического анализа (ПЗО, LOD) и методов осреднения концентраций ЗВ. В качестве материала были использованы результаты лабораторных исследований ЗВ в атмосферном воздухе за 2020 год, полученные в ходе проведения социально-гигиенического мониторинга и экологического мониторинга по полной программе наблюдений на территории города Омска.

Организация лабораторного мониторинга на постах Роспотребнадзора проводилась в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.1.6.0157–19⁶ по полной программе наблюдений (300 наблюдений за каждым загрязняющим веществом в каждой точке наблюдения в течение года) с расчетом средних ориентировочных годовых концентраций из разовых проб. Перечень загрязняющих веществ был сформирован с учетом показателей сравнительной канцерогенной и неканцерогенной опасности и включал 18 приоритетных загрязняющих веществ: диоксид серы, диоксид азота, сероводород, оксид углерода, бензол, углерод (сажа), диметилбензол (ксилол), гидроксibenзол (фенол), аммиак, метилбензол (толуол), этилбензол, 3,4-бензпирен, формальдегид, хром (шестивалентный), никель оксид (в пересчете на никель), взвешенные вещества, PM10, PM2,5.

Проведена оценка канцерогенного и неканцерогенного риска⁷ вредного воздействия ЗВ на основании осредненных концентраций, полученных разными методами. При сравнении средних значений учитывалась точность интервальной оценки. Для оценки характера распределения вариационного ряда использовался коэффициент асимметрии Пирсона, инструменты анализа данных в Excel.

Проведены расчеты нижней величины количественного определения методов химического анализа ЗВ, находящихся в атмосферном воздухе, которые не приведут к необоснованному завышению значений риска здоровью.

Для расчета нижней величины количественного определения методов для оценки канцерогенного риска применялась следующая формула (1):

$$C \leq Risk_{canc} / (SFi \times 0,29), \quad (1)$$

где: C – искомая минимальная концентрация, ниже которой не будет превышения допустимого канцерогенного риска; $Risk_{canc}$ – величина допустимого показателя канцерогенного риска 1,0-E04; SFi – значение фактора канцерогенного потенциала; 0,29 – отношение усредненного объема вдыхаемого воздуха за сутки (20 л/с) к средней массе тела человека (70 кг).

³ Концепция развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Приказом Роспотребнадзора от 26.08.2019 № 665).

⁴ Паспорт федерального проекта «Чистый воздух» (утв. Президиумом Совета при Президенте РФ от 24.12.2018).

⁵ Федеральный закон от 26 июля 2019 г. № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ...».

⁶ МР 2.1.6.0157–19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга».

⁷ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Аналогичным образом для расчета нижней величины количественного определения методов для оценки хронического неканцерогенного риска при ингаляционном поступлении ЗВ применялась формула (2):

$$C \leq RfC / HQ = RfC, \quad (2)$$

где: C – искомая минимальная концентрация, ниже которой не будет превышения допустимого неканцерогенного риска; HQ – допустимый показатель неканцерогенного риска (коэффициент опасности HQ менее 1,0); RfC – референтная концентрация при ингаляционном поступлении определяемого вещества (mg/m^3 воздуха). **Соблюдение этических стандартов:** данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Результаты. До 2020 года для гигиенической оценки качества атмосферного воздуха и оценки риска здоровью населения города Омска использовались только данные экологического мониторинга, представляемые ежегодно Росгидрометом (ФГБУ «Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды») по 8 стационарным постам с полной программой наблюдения по 25 веществам.

В рамках мероприятий по реализации федерального проекта «Чистый воздух» в городе

Омске была проведена оптимизация и модернизация лабораторной сети. С 1 января 2020 года наблюдательная сеть увеличилась за счет 4 новых маршрутных постов Роспотребнадзора, размещенных в неконтролируемых ранее жилых зонах и находящихся под влиянием различных источников выбросов.

Одна из проблем, которая перед нами возникла: регистрация большого количества измеренных величин, находящихся ниже предела обнаружения методов химического анализа по результатам скринингового лабораторного исследования (300 проб в год). Среди всех взятых в работу результатов проведенных исследований 71,2 % (3844 исследования) оказались ниже предельного значения обнаружения метода (табл. 1).

Для проведения корректной оценки риска здоровью населения в данном случае очень важен выбор метода обработки данных, так как он в значительной степени определяет результат оценки риска.

Проблемы, связанные со значениями концентраций, находящихся ниже ПЗО, прежде всего относятся к процедуре вычисления средних значений.

«Справочный документ по общим принципам мониторинга»⁸ предлагает следующие методы обработки величин, находящихся ниже предела обнаружения.

Таблица 1. Удельный вес измеренных величин концентраций ЗВ, ниже ПЗО метода из перечня контролируемых веществ в 2020 году на постах Роспотребнадзора

Table 1. The proportion of air pollutant concentrations below the limit of detection (LOD) registered in 2020 at Rosпотребнадзор¹ monitoring sites

Загрязнители / Pollutants	Метод анализа / Analytical chemistry methods	Нижний предел обнаружений значений, mg/m^3 / Limit of detection, mg/m^3	Удельный вес величин ниже ПЗО / Proportion of concentrations below LOD (%)
Сера диоксид / Sulfur dioxide	фотоионизационный / photoionization	0,025	97,00
	фотометрический / photometry	0,03	
Этилбензол / Ethylbenzene	хроматографический / chromatography	0,005	80,00
Гидроксибензол (Фенол) / Phenol	высокоэффективная жидкостная хроматография / high performance liquid chromatography	0,0015	93,00
	фотометрический / photometry	0,003	
	фотоионизационный / photoionization	0,0015	
Дигидросульфид (Сероводород) / Hydrogen sulfide	фотоионизационный / photoionization	0,004	94,33
	фотометрический / photometry	0,004	
Аммиак / Ammonia	фотоионизационный / photoionization	0,02	97,67
	фотометрический / photometry	0,02	
Углерод (Пигмент черный, Сажа) / Carbon black (soot)	фотоионизационный / photoionization	0,025	83,33
	фотометрический / photometry	0,03	
Хром (шестивалентный) / Chromium IV	атомно-абсорбционная спектрометрия / atomic absorption spectrometry	0,00001	77,00
	атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой / inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy	0,0005	
Формальдегид / Formaldehyde	фотоионизационный / photoionization	0,0015	84,00
	фотометрический / photometry	0,03	
Никель оксид (в перерасчете на никель) / Nickel oxide (expressed as Ni)	атомно-абсорбционная спектрометрия / atomic absorption spectrometry	0,00001	82,33
	атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой / inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy	0,0005	

Note for Tables 1 and 2: ¹Rosпотребнадзор, Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing.

⁸ «Справочный документ по общим принципам мониторинга». Европейская комиссия, Институт по исследованию перспективных технологий Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды. Испания, 2003 год.

1. Измеренная величина используется в расчетах, даже если она ненадежна. Такая возможность существует лишь для некоторых методов измерения.

2. Для расчетов используется предел обнаружения. В этом случае результирующее среднее значение обычно указывается в виде «<» (меньше чем). Для данного подхода характерна тенденция к завышению результата.

3. Для расчетов используется половина (или, возможно, другая заранее оговоренная доля) величины предела обнаружения. При таком подходе возможно как завышение, так и занижение результата.

4. Используется процентный метод вычисления по формуле:

$$(100 \% - A) \times \text{ПЗО}, \quad (3)$$

где A – процент образцов, для которых получено значение ниже ПЗО.

5. Для расчетов используется ноль. Для этого подхода характерна тенденция к занижению результата.

Вычисления по разным вариантам дают значительный разбег данных.

Методические документы по оценке риска здоровью⁹ предлагают при наличии сведений о возможности присутствия вещества в исследуемой точке или в зоне потенциального влияния источника загрязнения окружающей среды, но не обнаруженного в отобранной пробе, вместо нуля вносить величину концентрации, составляющую 1/2 предела количественного определения этого химического соединения. Как правило, этот прием мы чаще всего и применяли на практике, учитывая высокую концентрацию источников загрязнения на территории города, объемы выбросов, контролируемых ЗВ и небольшой удельный вес (единичные случаи) значений ниже ПЗО по данным Росгидромета. Считается, что этот метод позволяет избежать значительной асимметрии кривой распределения концентраций, возникающей в случае принятия нулевой концентрации. На такой же метод ссылается методический документ Научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха (ОАО «НИИ Атмосфера»), в соответствии с которым при получении нескольких значений концентраций, величина которых ниже нижнего предела обнаружения методики, эти значения принимаются равными половине этого нижнего предела обнаружения методики¹⁰.

Однако при недостаточной чувствительности аналитического метода этот прием может приводить к переоценке возможной экспозиции. Так, используя этот метод, мы получили значения среднегодовых концентраций, которые дали неприемлемые риски здоровью населения по всем постам наблюдения. Второй и четвертый методы показали еще более высокие значения концентраций.

Пятый метод (условно нулевое значение) рядом экспертов предлагается использовать при больших количествах проб ниже ПЗО, как в нашем случае, т. е. если вещество обнаруживается в менее чем 5 % отобранных проб. При этом выдвигается условие использования этого метода – если нет убедительных доказательств того, что

это химическое соединение является специфическим и характерным компонентом загрязнения окружающей среды на исследуемой территории [14]. В нашем случае исследуемые нами вещества являются приоритетными загрязнителями для всей территории города Омска. Некоторые исследователи даже допускают исключение ЗВ из исходного перечня веществ для проведения оценки риска здоровью, содержание которых обнаруживалось в отобранных пробах на уровне ПЗО более чем в 95 % [15]. Такой прием, на наш взгляд, может приводить к объективному занижению результата. Остается неясным, какой метод применять, если вещество обнаруживается не в 5 % проб, а в 6 или 20 %. В частности, в Руководстве по оценке риска Р 2.1.10.1920–04 в таких случаях предлагается исключать из анализа те пробы, которые могут привести к увеличению средней концентрации «до уровня, превышающего максимально обнаруживаемую концентрацию в данной точке». Вопрос, насколько оправдано такое исключение и должно ли оно подтверждаться объективными основаниями. Учитывая широкое использование методологии оценки риска здоровью на практике, требуется более четкий, стандартизированный подход к обработке данных лабораторного мониторинга.

Кроме того, ряды данных концентраций с большим удельным весом величин ниже ПЗО часто имеют асимметричное распределение ряда, в связи с чем, по законам статистики, для осреднения данных необходимо использовать не среднеарифметическое значение, а медиану [14, 16, 17]. Эти два средних значения могут сильно отличаться, а в случае использования нулевого метода медиана часто имеет нулевое значение.

В табл. 2 приведен пример расчета значений среднегодовых концентраций сероводорода, полученного различными методами обработки значений ниже ПЗО. По данным лабораторного мониторинга сероводорода на 4-м посту Роспотребнадзора были получены результаты лабораторных исследований 300 проб, из которых 94,33 % были ниже ПЗО. Распределение ряда данных – асимметричное, коэффициент асимметрии 0,15. В данном случае более корректно использовать в качестве среднего значения медиану. Как видно из табл. 2, в результате использования различных методов мы получили разные средние значения концентраций, отличающиеся друг от друга на порядок, от минимального значения (метод № 5) до максимального (метод № 4).

Таким образом, с учетом анализа применения различных методов, в ситуации с большим количеством значений ниже ПЗО в диапазоне от 50 до 95 % мы использовали среднее значение между методами № 3 и 5 или, что то же самое, применили в отношении значений ниже ПЗО величину 0,25 ПЗО. В данном случае это значение по медиане для сероводорода составило 0,0010 мг/м³. В случаях, когда удельный вес величин концентраций ниже ПЗО прибора превышал 95 % (в нашем исследовании – серы диоксид и аммиак), мы применяли нулевой метод обработки значений и в остальных случаях – метод № 3 (0,5 значения ПЗО). В зависимости от распределения данных в ряду в качестве средней величины применяли среднее арифметическое или медиану.

⁹ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

¹⁰ Методическое пособие по аналитическому контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Санкт-Петербург: НИИ Атмосфера, 2012.

Таблица 2. Значения среднегодовых концентраций дигидросульфида (сероводорода), полученных различными методами обработки значений ниже ПЗО на посту № 4 Роспотребнадзора в 2020 году (уровень надежности данных – 95 %), мг/м³**Table 2.** Average annual concentrations of hydrogen sulfide estimated by various methods of handling values below the limit of detection registered at Rospotrebnadzor monitoring station No. 4 in 2020 (95 % confidence level), mg/m³

Методы обработки данных* / Data processing methods*	Среднеарифметическое значение / Arithmetic mean	Медиана / Median
Метод № 2 (используется величина ПОЗ) / Method 2 (using LOD)	0,0049	0,0040
Метод № 3 (используется ½ величины ПОЗ) / Method 3 (using ½ LOD)	0,0032	0,0020
Метод № 4 (используется формула) / Method 4 (using a formula)	0,023	
Метод № 5 (используется нулевое значение) / Method 5 (using a zero value)	0,0015	0
98 процентиль концентрации / 98 th percentile of concentration	0,01	

Примечание: * – «Справочный документ по общим принципам мониторинга». Европейская комиссия, Институт по исследованию перспективных технологий Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды. Испания, 2003 год.

Notes: * Reference Document on the General Principles of Monitoring. European Commission, Institute for Advanced Technologies Research, European Bureau for Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Spain, July 2003. Accessed on March 25, 2022. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-03/superseded_mon_bref_0703.pdf.

Чтобы не допустить занижения средних значений и, таким образом, неоправданно «уменьшить» показатели риска здоровью, эти данные, по мнению многих экспертов, необходимо сопровождать значениями 90–98-го перцентиля функции распределения концентрации¹¹, а также показателями риска в чувствительных группах населения [15, 18].

Разные методы обработки данных показали разные значения рисков: от допустимых до настоящих уровней для хрома и никеля. Показатели канцерогенного и неканцерогенного рисков при воздействии формальдегида на всех постах находились в пределах допустимого уровня, но отличались величинами, что имело значение при расчете кумулятивного риска.

В настоящее время Росгидромет предоставляет в информационный фонд социально-гигиенического мониторинга результаты лабораторных исследований в виде осредненных за год среднесуточных концентраций. В то же время при обработке результатов лабораторных исследований на ведомственных постах наблюдения (постах Роспотребнадзора) в целях проведения работ по оценке риска часто применяют осреднение величин разовых проб за

весь годовой период без расчета среднесуточных концентраций. Для более корректного анализа риска здоровью использование данных лабораторного мониторинга других ведомств (например, Росгидромета) должно предполагать получение первичных данных – разовых значений, а не осредненных величин, гармонизацию методов и методик химического анализа.

Были получены расчетные значения нижних величин количественного определения методов ряда приоритетных ЗВ в качестве критериев выбора методов лабораторных исследований атмосферного воздуха, наиболее приемлемых для использования при выполнении санитарно-эпидемиологических экспертиз и оценки риска здоровью населения (табл. 3).

Исходя из полученных расчетов, некоторые используемые методы количественного химического анализа в отношении определенных ЗВ не удовлетворяют предложенным критериям в целях проведения корректной оценки риска здоровью, например фотометрический метод определения содержания формальдегида в атмосферном воздухе при расчете канцерогенного риска.

Таблица 3. Расчетные значения нижних величин количественного определения методов исследований некоторых химических веществ в атмосферном воздухе для оценки канцерогенного и неканцерогенного рисков**Table 3.** Estimated lower limits of quantification of certain airborne pollutants for carcinogenic risk and non-carcinogenic risk assessment

Загрязняющее вещество / Pollutant	Расчетная нижняя величина количественного определения метода, мг/м ³ , не более / Estimated lower limit of quantification, mg/m ³	
	для оценки канцерогенного риска / for carcinogenic risk assessment	для оценки неканцерогенного риска / for non-carcinogenic risk assessment
Никель / Nickel	0,00041	5,00E-05
Хром (шестивалентный) / Chromium (VI)	8,21E-06	1,00E-04
Аммиак / Ammonia	–	0,040
Углерод (Пигмент черный, Сажа) / Carbon black	0,022	0,050
Сера диоксид / Sulfur dioxide	–	0,020
Дигидросульфид (Сероводород) / Hydrogen sulfide	–	0,0020
Бензол / Benzene	0,013	0,030
Ксилол / Xylene	–	0,10
Толуол / Toluene	–	5,0
Этилбензол / Ethylbenzene	0,090	1,0
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	8,84E-05	1,00E-06
Гидроксибензол (Фенол) / Phenol	–	0,0060
Формальдегид / Formaldehyde	0,0075	0,0030
Взвешенные вещества / Suspended particles	–	0,0750

¹¹ МУ 2.1.10.3675–20 «Оценка достаточности и эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для митигации рисков и вреда здоровью населения».

Для определения хрома и никеля в целях проведения оценки неканцерогенных эффектов, исходя из расчетных значений, представленных в табл. 3, оптимально применение атомно-абсорбционного метода. Расчетная нижняя величина количественного определения для оценки канцерогенного риска при воздействии хрома значительно ниже ПЗО применяемых методов анализа.

Обсуждение. Действующие системы контроля не всегда направлены на определение реальных количественных характеристик экспозиции населения и оценку связанных с этим последствий для состояния здоровья [19]. Ряд авторов указывает на противоречивость и несогласованность руководящих документов в области охраны окружающей среды и охраны здоровья человека от химического загрязнения [20]. Остается проблемой наличие неструктурированной информационной системы лабораторного обеспечения, затрудняющей информационный обмен в горизонтальных направлениях [21]. Вопросы обработки величин концентраций химических веществ ниже ПЗО для целей оценки риска здоровью также освещались некоторыми авторами, в работах которых были предложены дополнительные требования к методам количественного химического анализа питьевой воды [10]. Кроме того, многие исследователи обращают внимание на вопросы повышения чувствительности применяемых методов лабораторного контроля [22].

В целом в настоящее время методы обработки данных лабораторных мониторингов (результатов лабораторных исследований) в большей степени ориентированы на сравнение с гигиеническими нормативами, чем на оценку риска здоровью. Поэтому внедрение методологии оценки риска в систему отечественного гигиенического нормирования продолжает оставаться актуальным [23].

Заключение. Таким образом, в настоящее время существует проблема практического применения методов обработки данных величин концентраций ЗВ ниже ПЗО, полученных в ходе лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха, и оценки таких значений, что, в свою очередь, увеличивает неопределенности при проведении оценки риска здоровью.

На наш взгляд, необходимо разработать конкретный инструментарий по обработке данных лабораторного мониторинга в целях проведения корректной оценки риска здоровью населения.

Учитывая поставленные задачи федеральным проектом «Чистый воздух» по анализу качества атмосферного воздуха на основе объединенных лабораторных данных, важно унифицировать методы и методики количественного химического анализа содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с учетом целей проведения оценки риска как при внутриведомственном, так и межведомственных подходах.

Список литературы

1. Гурвич В.Б., Козловских Д.Н., Власов И.А. и др. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила) // *Здоровье населения и среда обитания*. 2020. № 9 (330). С. 38–47. doi: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47
2. Шашина Т.А., Новиков С.М., Козлов А.В., Кислицин В.А., Скворцова Н.С. Оценка риска здоровью населения, обусловленного воздействием выбросов алюминиевого производства // *Гигиена и санитария*. 2006. № 5. С. 61–64.
3. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Горяев Д.В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух» // *Анализ риска здоровью*. 2019. № 3. С. 4–17.
4. Сабирова З.Ф., Бударина О.В., Винокуров М.В., Фаттахова Н.Ф. Методические вопросы изучения влияния загрязнения воздуха на здоровье населения // *Гигиена и санитария*. 2017. Т. 96. № 10. С. 987–989. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-10-987-989
5. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Шашина Т.А., Додина Н.С. Актуальные проблемы управления рисками здоровью населения в России // *Гигиена и санитария*. 2018. Т. 97. № 6. С. 572–575. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-572-575
6. Munns Jr WR, Suter GW, Damstra T, et al. Integrated Risk Assessment Report Prepared for the WHO/UNEP/ILO International Programme on Chemical Safety, WHO/IPCS/IRA/01/12. 2001. doi: 10.13140/RG.2.2.14834.76481
7. Волкодаева М.В., Киселев А.В. О развитии системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха // *Записки Горного института*. 2017. Т. 227. С. 589–596. doi: 10.25515/PMI.2017.5.589
8. Burnett RT, Arden Pope 3rd C, Ezzati M, et al. An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environ Health Perspect*. 2014;122(4):397-403. doi: 10.1289/ehp.1307049
9. Soares PH, Monteiro JP, Freitas HF, Sakiyama RZ, Andrade CM. Platform for monitoring and analysis of air quality in environments with large circulation of people. *Environmen Prog Sustain Energy*. 2018;37:2050-2057. doi: 10.1002/ep.12895
10. Федоров В.Н., Зарицкая Е.В., Новикова Ю.А., Сладкова Ю.Н., Метелица Н.Д. Обоснование выбора методик исследований питьевой воды для целей и задач санитарно-эпидемиологических экспертиз и оценки риска здоровью населения // *Здоровье населения и среда обитания*. 2020. № 10 (331). С. 15–21. doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-15-21
11. Liu S, Krewski D, Shi Y, Chen Y, Burnett RT. Association between gaseous ambient air pollutants and adverse pregnancy outcomes in Vancouver, Canada. *Environ Health Perspect*. 2003;111(14):1773-1778. doi: 10.1289/ehp.6251
12. Ashmore MR, Dimitroulopoulou C. Personal exposure of children to air pollution. *Atmos Environ*. 2009;43(1):128-141. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.024
13. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья // *Гигиена и санитария*. 2019. Т. 98. № 1. С. 82–86. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86
14. Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровью населения // *Анализ риска здоровью*. 2020. № 3. С. 23–29. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.03
15. Четверкина К.В. Оценка неканцерогенного риска для здоровья населения, обусловленного ингаляционным поступлением поллютантов из атмосферного воздуха, в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере г. Братска, Красноярск, Норильск, Чита) // *Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. В 2-х т. Под редакцией проф. А.Ю. Поповой акад. РАН Н.В. Зайцевой. Пермь, 13–15 мая 2020 года. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2020. С. 268–272.
16. Банержи А. Медицинская статистика понятным языком: вводный курс. Москва: Практическая медицина, 2007. 287 с.
17. Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика. СПб.: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2003. 432 с.
18. Дерябин А.Н., Унгуриану Т.Н., Бузинов Р.В. Риск здоровью населения, связанный с экспозицией

- химических веществ почвы // Анализ риска здоровью. 2019. № 3. С. 18–25.
- Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью населения и управление качеством среды обитания // Здоровье и окружающая среда: сборник материалов международной научно-практической конференции в 2-х т. Минск, 15–16 ноября 2018 года. Минск: Республиканская научная медицинская библиотека. 2018. С. 3–5.
 - Жолдакова З.И., Синицына О.О., Печникова И.А., Савостикова О.Н. Актуальные направления гармонизации законодательных основ по обеспечению безопасности химических загрязнений для здоровья человека и окружающей среды // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 4–13.
 - Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Карпушенко Г.В. Научно-методические аспекты лабораторного обеспечения химической безопасности массовых международных мероприятий // Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 14–20. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.02
 - Ракитский В.Н., Стёпкин Ю.И., Клепиков О.В., Куролап С.А. Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 3. С. 188–195. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195
 - Попова А.Ю., Зайцева Н.В. Научно-методические аспекты оценки риска здоровью при реализации функций и полномочий федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией проф. А.Ю. Поповой акад. РАН Н.В. Зайцевой. Пермь, 16–18 мая 2018 года. Пермь: Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2018. С. 9–14.
- ### References
- Gurvich VB, Kozlovskikh DN, Vlasov IA, et al. Methodological approaches to optimizing ambient air quality monitoring programs within the framework of the Federal Clean Air Project (on the example of Nizhny Tagil). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(9(330)):38-47. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47
 - Shashina TA, Novikov SM, Kozlov AV, Kislitsin VA, Skvortsova NS. Assessment of aluminum production emission induced risk to human health. *Gigiena i Sanitariya*. 2006;(5):61-64. (In Russ.)
 - Zaitseva NV, May IV, Kleyn SV, Goryaev DV. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and “Pure Air” Federal Project. *Health Risk Analysis*. 2019;(3):4-17. doi: 10.25515/PMI.2017.5.589
 - Sabirova ZF, Budarina OV, Vinokurov MV, Fattachova NF. Methodical questions of the study of the influence of air pollution on the population's health. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(10):987-989. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-10-987-989
 - Rakitskiy VN, Avaliani SL, Shashina TA, Dodina NS. Actual problems of population health risks management in Russia. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(6):572-575. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-572-575
 - Munns Jr WR, Suter GW, Damstra T, et al. Integrated Risk Assessment Report Prepared for the WHO/UNEP/ILO International Programme on Chemical Safety, WHO/IPCS/IRA/01/12. 2001. doi: 10.13140/RG.2.2.14834.76481
 - Volkodaeva MV, Kiselev AV. On development of system for environmental monitoring of atmospheric air quality. *Zapiski Gornogo Instituta*. 2017;227:589-596. doi: 10.25515/PMI.2017.5.589
 - Burnett RT, Arden Pope 3rd C, Ezzati M, et al. An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environ Health Perspect*. 2014;122(4):397-403. doi: 10.1289/ehp.1307049
 - Soares PH, Monteiro JP, Freitas HF, Sakiyama RZ, Andrade CM. Platform for monitoring and analysis of air quality in environments with large circulation of people. *Environmen Prog Sustain Energy*. 2018;37:2050-2057. doi: 10.1002/ep.12895
 - Fedorov VN, Zaritskaya EV, Novikova YuA, Sladkova YuN, Metelitsa ND. Substantiation of drinking water quality testing methods of choice for the goals and objectives of sanitary and epidemiologic expert examination and health risk assessment. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;(10(331)):15-21. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-15-21
 - Liu S, Krewski D, Shi Y, Chen Y, Burnett RT. Association between gaseous ambient air pollutants and adverse pregnancy outcomes in Vancouver, Canada. *Environ Health Perspect*. 2003;111(14):1773-1778. doi: 10.1289/ehp.6251
 - Ashmore MR, Dimitroulopoulou C. Personal exposure of children to air pollution. *Atmos Environ*. 2009;43(1):128-141. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.024
 - Karelin AO, Lomtev AYU, Volkodaeva MV, Yeregin GB. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to management the risk for health. *Gigiena i Sanitariya*. 2019;98(1):82-86. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86
 - Rakitskii VN, Kuz'min SV, Avaliani SL, Shashina TA, Dodina NS, Kislitsin VA. Contemporary challenges and ways to improve health risk assessment and management. *Health Risk Analysis*. 2020;(3):22-28. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.03.eng
 - Chetverkina KV. [Assessment of non-carcinogenic population health risk from inhalation exposure to ambient air pollutants within implementation of the “Clean Air” Federal Project (based on the examples of the cities of Bratsk, Krasnoyarsk, Norilsk, Chita).] In: *Health Risk Analysis – 2020 in conjunction with the International Meeting on Environment and Health Rise-2020 and Round Table on Food Safety: Proceedings of the 10th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Perm, May 13-15, 2020. In 2 vols. Popova AYU, Zaitseva NV, eds. Perm: Perm National Research Polytechnic University Publ.; 2020:268-272. (In Russ.)*
 - Banerjee A. *Medical Statistics Made Clear: An Introduction to Basic Concepts*. Translated by Leonov VP. Moscow: Prakticheskaya Meditsina Publ.; 2007. (In Russ.)
 - Zaytsev VM, Liflyandskiy VG, Marinkin VI. [Applied Medical Statistics.] St. Petersburg: FOLIANT Publ.; 2003. (In Russ.)
 - Deryabin AN, Unguryanu TN, Buzinov RV. Population health risk caused by exposure to chemicals in soils. *Health Risk Analysis*. 2019;(3):18-25. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.02.eng
 - Avaliani SL, Dodina NS, Shashina TA, Kislitsin VA. [Health risk analysis and environmental quality management.] In: *Health and Environment: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, November 15-16, 2018. In 2 vols. Minsk: Republican Scientific Medical Library Publ.; 2018:3-5.*
 - Zholdakova ZI, Sinityna OO, Pechnikova IA, Savostikova ON. Contemporary trends in harmonization of legal grounds for providing safety of environmental chemical contamination for human health. *Health Risk Analysis*. 2018;(2):4-13. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.01.eng
 - Popova AYU, Zaitseva NV, Karpushchenko GV. Scientific and methodological aspects of laboratory support aimed at providing chemical safety during international mass events. *Health Risk Analysis*. 2019;(2):14-20. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2019.2.02.eng
 - Rakitskii VN, Stepkin YuI, Klepikov OV, Kurolap SA. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(3):188-195. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195
 - Popova AYU, Zaitseva NV. [Scientific and methodological aspects of health risk assessment in the implementation of the functions and powers of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing.] In: *Topical Issues of Risk Analysis in Ensuring Sanitary and Epidemiological Wellbeing of the Population and Consumer Protection: Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Perm, May 16-18, 2018. Popova AYU, Zaitseva NV, eds. Perm: Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies Publ.; 2018:9-14. (In Russ.)*