



Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А., Голиков Р.А.

Опыт применения статистико-математических технологий для оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в крупном промышленном центре

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

Введение. Проблема загрязнения воздушной среды актуальна в городах, где проживает основная часть населения и сконцентрировано большое количество промышленных предприятий на относительно небольших территориях. В настоящее время в 12 промышленных центрах России в рамках национального проекта «Экология» реализуется федеральный проект «Чистый воздух».

Цель работы — обосновать применение статистико-математических методов оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в городе Новокузнецке Кемеровской области.

Материалы и методы. Применены следующие методы: оценка и управление риском для здоровья населения, методы статистического анализа: факторный анализ, множественный регрессионный анализ, дискриминантный анализ.

Результаты. Отмечено, что для оценки влияния могут использоваться как статистические показатели, так и параметры риска для здоровья населения. Приведены примеры воздействия комплексных показателей загрязнения (главные компоненты загрязнения, интегральный показатель P), а также концентраций отдельных примесей воздушного бассейна (взвешенные вещества, озон). Установлено, что канцерогенный риск для населения Новокузнецка, исчисленный по расчётным концентрациям загрязнителей атмосферы, превышает порог приемлемого риска. Определён удельный вес канцерогенов в формировании риска дополнительной онкологической заболеваемости. Проведена оценка риска от выбросов предприятия углеобогащения, расположенного вблизи селитебных зон города. Значения индексов опасности показали превышение приемлемого неканцерогенного риска только от выбросов углеобогащательной фабрики с учётом фонового уровня загрязнения воздушного бассейна.

Заключение. В городе Новокузнецке предложено применять при управлении риском для здоровья метод ранжирования атмосфероохраняющих мероприятий по показателю удельной стоимости снижения риска. Для управления риском предложен расчёт либо популяционных показателей аэрогенной опасности, либо вероятностных параметров индивидуальной опасности, связанной с загрязнением воздуха. Отмечается, что 20–22%-ное снижение выбросов загрязняющих веществ для Новокузнецка может быть недостаточно. Приведены перспективные мероприятия по дальнейшему изучению аэрогенного воздействия на население города.

Ключевые слова: федеральный проект «Чистый воздух»; загрязнение воздушного бассейна; твёрдые частицы; здоровье населения; риск для здоровья; управление риском

Для цитирования: Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А., Голиков Р.А. Опыт применения статистико-математических технологий для оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в крупном промышленном центре. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (7): 663–667. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667>

Для корреспонденции: Кислицына Вера Викторовна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: ecologia_nie@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Суржиков Д.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Кислицына В.В. — концепция и дизайн исследования, сбор литературных данных, написание текста; Штайгер В.А. — сбор, анализ и обработка материалов; Голиков Р.А. — сбор, анализ и обработка материалов. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 27.05.2021 / Принята к печати 09.07.2021 / Опубликована 31.07.2021

Dmitry V. Surzhikov, Vera V. Kislitsyna, Varvara A. Shtaiiger, Roman A. Golikov

Experience in using statistical and mathematical technologies to assess the impact of atmospheric pollution on public health in a large industrial center

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

Introduction. The issue of air pollution is relevant in cities where the majority of the population lives and a large number of industrial enterprises are concentrated in relatively small areas. Currently, the federal project “Clean Air” is being implemented in 12 industrial centres of Russia within the framework of the national project “Ecology”.

The purpose of the work was to justify using statistical and mathematical methods for assessing the impact of atmospheric pollution on the health of the population in the city of Novokuznetsk, Kemerovo region.

Materials and methods. The following methods were used: assessment and management of public health risk, statistical analysis methods: factor analysis, multiple regression analysis, discriminant analysis.

Results. Statistical indices and public health risk parameters can be used to assess the impact. Examples of the effect of complex pollution indices (the main components of pollution, the integral indicator P) and the concentrations of individual impurities in the air basin (suspended substances, ozone) were given. The carcinogenic risk to the population of Novokuznetsk, calculated from the calculated concentrations of atmospheric pollutants, was found to exceed the acceptable risk threshold. The specific weight of carcinogens in the formation of the risk to other oncological incidence was determined. An assessment of the risk from the emissions of a coal-processing plant located near residential areas of the city was carried out. The values of the hazard indices showed an excess of the acceptable non-carcinogenic risk only from the emissions of the coal processing plant, taking into account the background level of air pollution in the air basin.

Conclusion. In Novokuznetsk, it is proposed to use the method of ranking atmospheric protection measures in terms of the unit cost of risk reduction in health risk management. To manage the risk, it is proposed to calculate the population indices of aerogenic hazard or the probabilistic parameters of the individual

threat associated with air pollution. It is noted that a 20–22% reduction in pollutant emissions for Novokuznetsk may not be enough. The reasonable measures for the further study of the aerogenic impact on the population of the city are presented.

Keywords: federal project “Clean Air”; air basin pollution; solid particles; public health; health risk; risk management

For citation: Surzhikov D.V., Kisilitsyna V.V., Shtaiger V.A., Golikov R.A. Experience in using statistical and mathematical technologies to assess the impact of atmospheric pollution on public health in a large industrial center. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (7): 663–667. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667> (In Russ.)

For correspondence: Vera V. Kisilitsyna, MD, PhD, leading researcher of the human ecology and environmental health laboratory of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation. E-mail: ecologia_nie@mail.ru

Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article - all co-authors

Information about the authors:

Surzhikov D.V., <https://orcid.org/0000-0002-7469-4178>; Kisilitsyna V.V., <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>

Shtaiger V.A., <https://orcid.org/0000-0003-4628-3133>; Golikov R.A., <https://orcid.org/0000-0003-3112-2919>

Contribution: Surzhikov D.V. – the concept and design of the study, writing a text, editing; Kisilitsyna V.V. – the concept and design of the study, collection of literature data, writing a text; Shtaiger V.A. – collection, analysis and processing of material; Golikov R.A. – collection, analysis and processing of material; Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article - all co-authors

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: May 27, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: July 31, 2021

Введение

Здоровье населения является важным фактором развития общества, показателем его безопасности и благополучия, в значительной степени зависящим от состояния окружающей среды [1]. В большинстве российских городов с развитыми отраслями промышленности в настоящее время экологическая ситуация является крайне неблагоприятной [2, 3]. Особенно актуальна проблема загрязнения воздушной среды для урбанизированных территорий, где проживает основная часть населения и сконцентрировано большое количество промышленных предприятий на относительно небольших территориях [4–6]. Сложная экологическая ситуация сложилась в городе Новокузнецке Кемеровской области, который является крупным центром угольной и металлургической промышленности.

В настоящее время в 12 промышленных центрах России, в том числе и в Новокузнецке, в рамках национального проекта «Экология» реализуется федеральный проект «Чистый воздух». Целью проекта является сокращение выбросов загрязняющих примесей в атмосферный воздух на 20–22% в течение нескольких лет. Проект также предполагает оснащение автоматизированными средствами контроля высотных источников выбросов на промышленных предприятиях и пунктов отбора проб загрязнителей в селитебных зонах [7].

По данным доклада «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2019 году», суммарный объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу региона составил 1830,163 тыс. тонн, что на 13,1% больше соответствующей величины в 2018 г. Распределение объёмов выбросов от стационарных источников по административным территориям Кемеровской области неравномерно. Наибольшее количество выбросов в 2019 г. (34,7%) отмечено в Новокузнецком районе – 317,066 тыс. тонн и в Новокузнецке – 294,195 тыс. тонн, составляя 535 кг/чел. при численности населения 549,403 тыс. человек. Основным загрязняющим веществом является бенз(а)пирен, среднегодовая концентрация которого превысила предельно допустимое значение в 5,8 раза. Наибольший уровень загрязнения выявлен в Кузнецком районе города, где сосредоточены основные промышленные предприятия [8].

В последние годы процесс определения связи между воздействием факторов окружающей среды и состоянием здоровья населения является наиболее актуальной научной проблемой [9–11]. При этом некоторые вопросы оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения требуют дополнительных исследований: до сих пор параметры неканцерогенного риска определяются вероятностными критериями (индексы и коэффициенты опасности концентраций), при оценке значений риска не используются коэффициенты эластичности и критерии многомерного, в том числе дискриминантно-многомерного анализа, требуется

исчисление рисков их значений как по натурным, так и по расчётно-модельным концентрациям загрязнителей, а также оценка сравнений полученных различий результатов.

Цель работы – обосновать применение статистико-математических методов оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в городе Новокузнецке Кемеровской области.

Материалы и методы

Новокузнецк характеризуется скоплением площадок металлургического и алюминиевого производства, углеобогащения и агломерации, предприятий теплоэнергетики, в том числе использующей каменный уголь. Предприятия пищевой промышленности, металлообработки, производство стройдеталей и бетона характеризуются наличием мелких котельных с низкими источниками выбросов, в том числе и неорганизованными. Промышленные площадки фабрик врезаются в селитебную зону, окружённую в свою очередь шахтами и угольными разрезами, с бортов которых при сильном и умеренном ветре сдуваются взвешенные частицы, создающие, особенно в тёплый период года, повышенную запылённость в жилых кварталах. Контроль за загрязнением городского воздушного бассейна ведёт на 8 пунктах отбора проб лаборатория Гидрометобсерватории, в том числе ведётся мониторинг содержания в атмосферном воздухе взвешенных частиц, сажи, фтористого водорода, характерного компонента выбросов производства алюминия. В течение 10-летнего периода в городе действовала лаборатория геоэкологии Новокузнецкого института Кемеровского государственного университета, контролировавшая уровни загрязнения атмосферы озонем и сероводородом. Лаборатория экологии человека НИИ КППЗ проводит замеры оксида этилена, бензола, цианистого водорода в нескольких точках селитебной зоны с использованием газоанализаторов «Геолан-1П».

Оценка канцерогенного риска для здоровья населения в Новокузнецке осуществляется согласно четырёхуровневой структуре: идентификация опасности, исчисление доз воздействия канцерогенных веществ, оценка эффекта канцерогенности загрязнителей при соответствующей дозе, характеристика и анализ результатов [12, 13].

Расчётные концентрации загрязняющих веществ определялись с использованием программы расчёта рассеивания примесей в атмосферном воздухе «ЭКОцентр-Стандарт». Оценка канцерогенного риска осуществлялась по расчётным средним долгопериодным концентрациям загрязняющих аэрогенных примесей, связанным с выбросами высотных организованных источников четырнадцати промышленных предприятий. Комплексная оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков проводилась по расчётным средним концентрациям, связанным с выбросами организованных

и неорганизованных источников, в том числе линейных и площадных, углеобогатительной фабрики «Абашевская». Интенсивные показатели заболеваемости, смертности и обращаемости за скорой медицинской помощью были получены из данных автоматизированной системы управления здравоохранением Новокузнецка. В дальнейших расчётах были использованы интенсивные суточные показатели обращаемости населения за скорой медицинской помощью и интенсивные месячные показатели смертности в возрастных группах 50–59, 60–69, 70 лет и старше по району города. Взаимосвязи и взаимозависимости между показателями здоровья населения и параметрами загрязнения воздушного бассейна определял многокомпонентный регрессионный анализ с отсечением воздействующих признаков с низкой детерминацией [14]. Устанавливались индексы множественной детерминации и нормированные на 10 мкг/м^3 концентрации аэрогенного загрязнителя коэффициенты эластичности [15]. Коэффициент эластичности — это величина, которая показывает, на сколько процентов в среднем изменится показатель здоровья населения, если значение аэрогенного фактора загрязнения или метеорологического фактора увеличится на 1% относительно своего среднего значения. Коэффициенты эластичности линейно пересчитывались на увеличение аэрогенного фактора загрязнения на 10 мкг/м^3 относительно его среднего. Индекс детерминации показывает процентное значение дисперсии показателя здоровья населения, связанное с дисперсией воздушного фактора загрязнения или с дисперсией метеорологического фактора. Проведён факторный анализ загрязнения (по натурным данным) воздуха Новокузнецка методом главных компонент [16, 17]. Многомерный дискриминантный анализ применён для выявления отличий в загрязнении атмосферного воздуха по отдельным жилым районам Новокузнецка [18, 19]. В качестве исходных величин в факторном и дискриминантном анализе применены средние (за месяц) натурные концентрации за трёхлетний период десяти атмосферных примесей по районам города.

Результаты

Проведённые исследования позволили выделить 4 компоненты, определяющие суммарно 65,4% общей дисперсии загрязнения. Выявлена корреляционная связь компонентов загрязнения воздушного бассейна с заболеваемостью взрослого населения (месячные показатели) болезнями органов кровообращения; коэффициент множественной детерминации установлен как 32,2% (умеренная зависимость). Компоненты загрязнения имплицированы с такими факторами, как взвешенные частицы и фтористый водород. Главные компоненты не коррелируют между собой, и в этом их преимущество над воздействующими факторами, выраженными в натуральных показателях. Но при этом достаточно сложно интерпретировать полученные в данных моделях коэффициенты эластичности результативного признака.

Результаты определения значений канонических величин показали, что по первым двум величинам селитебная зона, прилегающая к промышленному узлу, состоящему из алюминиевого и ферросплавного заводов и крупной теплоэлектростанции, отличается от 5 других городских территорий. Данная территория характеризуется и более высоким значением интегрального показателя загрязнения атмосферы Р. Нами также осуществлялась работа по установлению совместного воздействия климатического фактора и фактора загрязнения на суточные показатели обращаемости населения за скорой медицинской помощью. Было использовано совокупное влияние показателя Р и показателя жёсткости погоды S. По значениям индексов детерминации определена 26%-ная зависимость дисперсии суточной обращаемости по болезням органов дыхания и 22%-ная зависимость по болезням системы кровообращения.

Анализ многофакторных регрессионных соотношений интенсивных показателей смертности населения с шестью

факторами загрязнения воздушного бассейна Новокузнецка показал положительные значения коэффициентов эластичности, нормированных на 10 мкг/м^3 взвешенных частиц, причём в возрастной группе 60–69 лет этот показатель может достигать значения 0,7% по общей смертности и 0,89% по смертности от болезней органов кровообращения.

Исчисленный по расчётным концентрациям загрязняющих примесей канцерогенный аэрогенный риск в Новокузнецке находился в пределах от $4,27 \cdot 10^{-4}$ до $6,47 \cdot 10^{-4}$ (в зависимости от селитебной зоны), что превышает верхний порог приемлемого риска. Удельный вес бензола в канцерогенной опасности достигал 34%, бенз(а)пирена — 35%, формальдегида — 27%.

При оценке воздействия озона на население решалась проблема многолетнего определения концентраций этого поллютанта в одной точке центральной части города. На карте Новокузнецка был построен круг радиусом 2 км. Заболеваемость жителей многоэтажных домов, попавших внутрь этого круга, была выделена в виде интенсивных месячных показателей и сопоставлялась с концентрациями озона, сероводорода и ещё 6 загрязняющих примесей.

Было построено 4 модели регрессии с различным числом воздействующих факторов. Коэффициент эластичности показателя общей заболеваемости взрослого населения колебался в пределах от 0,26 до 1,84% на каждые 10 мкг/м^3 роста концентрации озона в воздухе в зависимости от модели регрессии при значениях индексов множественной детерминации от 17 до 67%.

Обсуждение

Проведена оценка риска для здоровья жителей Новокузнецка от выбросов углеобогатительной фабрики «Абашевская», расположенной между двумя микрорайонами восточной части города. Наиболее опасным неканцерогенным компонентом выбросов данного предприятия (по показателю индекса опасности выбросов) является пыль неорганическая с содержанием диоксида кремния менее 20%, канцерогенным компонентом — сажа (с учётом индекса опасности выбросов). Для оценки неканцерогенного риска отобрано 9 взвешенных и токсичных примесей атмосферного воздуха, для канцерогенной оценки — сажа и бензол. Для оценки максимальных и средних концентраций на карте Новокузнецка выбрано 40 точек в соответствии с розой ветров.

Коэффициенты и индексы опасности концентраций неканцерогенных примесей (неканцерогенный риск) определяются с учётом фонового загрязнения атмосферного воздуха Новокузнецка рядом взвешенных и газообразных токсичных веществ. Всего углеобогатительная фабрика «Абашевская» располагает 21 организованным источником выбросов с высотами от 5 до 45 м и 7 неорганизованными источниками. Канцерогенный риск, связанный с выбросами данного предприятия углеобогащения, может достигать значения $3-4 \cdot 10^{-6}$ в точках воздействия, расположенных в восточной части Новокузнецка, что превышает нижнюю границу диапазона приемлемого риска. С учётом фонового загрязнения индекс неканцерогенной опасности, имплицированный с выбросами фабрики, колеблется от 1,35 до 2,05, что также является достаточно высоким значением уровня аэрогенной опасности. Индекс опасности по болезням органов дыхания находился в пределах от 1,02 до 1,74.

Реализация федерального проекта «Чистый воздух» предполагает снижение интенсивности выбросов в Новокузнецке на 20–22%, для этого направлено 1074,4 млн рублей (21% от общего объёма затрат на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов), по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области. Для исполнения Указа Президента РФ в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» разработан и утверждён комплексный план мероприятий по снижению 65 выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в Новокуз-

нецке на период 2019–2024 гг. Комплексный план содержит 24 природоохранных мероприятия, в том числе обновление подвижного состава и перевод на газомоторное топливо общественного транспорта, строительство сетей газоснабжения для подключения жилых домов частного сектора, модернизация системы мониторинга, а также мероприятия крупных промышленных предприятий города. Согласно плану, выбросы по Новокузнецку к 2024 г. планируется сократить на 69,03 тыс. тонн, что составит 20,25% к уровню 2017 г., в основном за счёт снижения выбросов на крупных промышленных предприятиях города: АО «ЕВРАЗ ЗСМК», АО «РУСАЛ Новокузнецк», АО «Кузнецкие ферросплавы», АО «Кузнецкая ТЭЦ» [8].

Уровень загрязнения воздушного бассейна промышленного города определяется интенсивностью постоянных выбросов и частотой залповых выбросов. Однако определённую роль играют и метеорологические факторы, в первую очередь скорость ветра. Так, для рассмотренной нами углеобогатительной фабрики опасная скорость ветра по стационарным источникам варьировалась от 0,5 до 5,3 м/с. В дальнейшем предполагается составление вариационных рядов и расчёт влияния метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферного воздуха вышеуказанными примесями. Развитие роботизированной лёгкой летательной техники и средств контроля за температурой воздуха, оснащённых оперативной памятью, в ближайшее время позволит определять значения мощности и интенсивности (разности температур) приподнятых инверсий. Данные два фактора также могут войти в состав воздействующих на показатели загрязнения атмосферы промышленного города.

Предлагаемые для применения методы многомерного статистического анализа не могут заменить установленные в РФ методы оценки и управления экологическим риском, но могут дополнить характеристику влияния вредных аэрогенных факторов на показатели здоровья населения промышленных центров. Множественный регрессионный анализ может применяться для характеристики совместного влияния метеорологических и антропогенных факторов на показатели здоровья населения. Статистические методы анализа не позволяют выявить влияние выбросов каждого конкретного промышленного предприятия на риск для здоровья человека. Однако проведение комплексной оценки экологического риска в Новокузнецке с использованием расчётов рассеивания выбросов всех крупных предприятий затруднено в силу объёмов исследований. В связи с этим расчёт риска, связанный с выбросами сравнительно небольшого промышленного предприятия, например, углеобогатительной фабрики, позволяет характеризовать уровень аэрогенной опасности в части города, примыкающей к данному предприятию. Расчёт индексов опасности проводится с учётом фонового уровня загрязнения атмосферы, и при реализации к 2025 г. природоохранных мероприятий, направленных на снижение выбросов 65 загрязняющих веществ, фоновый уровень загрязнения должен снизиться. В дальнейшем возможен пересчёт риска от углеобогатительной фабрики и прочих предприятий с учётом данного снижения фонового загрязнения и реализации на рассматриваемых предприятиях природоохранных проектов.

В настоящее время концентрации ряда характерных компонентов выбросов металлургического производства (фтористый водород, цианистый водород, бензол) превышают гигиенические нормативы в 2–4 раза. Для данных загрязнителей снижение выбросов на 1/5 часть может быть недостаточным. В Новокузнецке необходимо введение механизма управления риском [20, 21]. Управление риском – это анализ мероприятий по снижению индивидуальных и популяционных рисков на основе оценки рисков, выбора приоритетов и экономического обоснования природоохранных мероприятий [22, 23]. Важным компонентом управления риском является определение удельной стоимости снижения риска и дальнейшее ранжирование природоохранных мероприятий по данному показателю. Чем удельная стоимость ниже, тем природоохранный проект эффективнее. Показатель удельной стоимости представляет отношение чистой дисконтированной стоимости проекта к значению снижения риска после его реализации. Определение чистой дисконтированной стоимости проекта достаточно хорошо описано в экономической литературе [24, 25].

Снижение риска за годовой период можно выражать в показателях популяционного риска, которому должен соответствовать индивидуальный риск негативного эффекта, имеющий вероятностный характер. Риск, выраженный как вероятность, прежде всего канцерогенный, а коэффициенты и индексы опасности неканцерогенного риска нельзя представить в вероятностном характере.

В литературе встречается показатель, именуемый «риск хронической интоксикации», вычисляемый из концентраций загрязняющих веществ по обратно-экспоненциальной модели [26–28]. Соответственно для реализации управления риском в промышленном городе параметры неканцерогенного риска можно дополнять значениями риска хронической интоксикации, носящими вероятностный характер, от которых может быть реализован переход к годовому или пожизненному популяционному риску.

Заключение

Таким образом, при оценке воздействия атмосферных загрязнений на здоровье населения Новокузнецка возможно использование статистико-математических технологий. Характеризовать влияние загрязнения воздушного бассейна на уровень здоровья населения могут статистические показатели (детерминация, эластичность, дискриминантная функция), дополняя параметры риска. В промышленных центрах предложено применять алгоритм управления риском, который предполагает дополнение индексов опасности неканцерогенного риска показателями популяционного и индивидуального-вероятностного характера. В качестве таких показателей может служить число дополнительных случаев негативного для здоровья человека неканцерогенного эффекта, имплицитное с показателями эластичности. В Новокузнецке 20%-ное снижение поступления в атмосферный воздух ряда компонентов выбросов, индуцируемых промышленными предприятиями, вероятно, недостаточное. Только одна крупная углеобогатительная фабрика является источником выбросов, функционально связанных с индексами аэрогенной опасности, превышающими приемлемый уровень.

Литература

1. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Сеницына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. *Анализ риска здоровью*. 2015; (2): 4–11.
2. Андреева Е.Е. Оценка риска для здоровья населения от вредных факторов атмосферного воздуха, по данным социально-гигиенического мониторинга. *Здоровье населения и среда обитания*. 2016; (10): 15–8.
3. Савилов Е.Д., Анганова Е.В., Ильина С.В., Степаненко Л.А. Техногенное загрязнение окружающей среды и здоровье населения: анализ ситуации и прогноз. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(6): 507–12. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-507-512>
4. Боев В.М., Карпенко И.Л., Бархатова Л.А., Кудусова Л.Х., Зеленина Л.В. Мониторинг аэрогенной химической нагрузки на селитебных территориях промышленного города. *Здоровье населения и среда обитания*. 2016; (1): 11–3.
5. Фридман К.Б., Крюкова Т.В. Урбанизация – фактор повышенного риска здоровью. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(1): 8–11.
6. Крупская Д.А., Урбан Ю.Е., Кондрескул И.В., Амвросьев П.А. Использование методологии оценки риска для здоровья населения в практике надзора за качеством атмосферного воздуха. *Здоровье и окружающая среда*. 2016; (26): 29–31.

Original article

7. Клейн С.В., Зайцева Н.В., Май И.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Горяев Д.В. и соавт. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятия федерального проекта «Чистый воздух». *Гигиена и санитария*. 2020; 99(11): 1196–202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202>
8. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области-Кузбасса в 2019 году». Кемерово; 2020.
9. Колпакова А.Ф. О связи антропогенного загрязнения воздуха взвешенными частицами с риском развития онкологических заболеваний (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 298–302. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-298-302>
10. Костарев В.Г., Зайцева Н.В., Клейн С.В., Седусова Э.В., Андришунас А.М. Гигиенический анализ структурного распределения потенциальных рисков причинения вреда здоровью населения и работающих при осуществлении деятельности промышленных предприятий. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(11): 1301–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1301-1307>
11. Благодарева М.С., Корнилов А.С., Ярушин С.В., Малых О.Л. О методических подходах к оценке многофакторных рисков для здоровья населения, подверженного неблагоприятному воздействию среды обитания человека. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; (11): 41–5.
12. Авалиани С.Л., Андрианова М.М., Печенникова Е.В., Пономарева О.В. *Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт)*. М.: RCI; 1996.
13. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. М.; 2002.
14. Колемаев В.А., Калинин В.Н. *Теория вероятностей и математическая статистика*. М.: ИНФРА-М; 2000.
15. Дугерти К. *Введение в эконометрику*. Пер. с англ. М.: ИНФРА-М; 2001.
16. Дубров А.М. *Компонентный анализ и эффективность в экономике*. М.: Финансы и статистика; 2002.
17. Глинский В.В., Ионин В.Г. *Статистический анализ*. М.: ИНФРА-М; 2002.
18. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У. *Факторный, дискриминантный и кластерный анализ*. Пер. с англ. М.: Финансы и статистика; 1989.
19. Симчера В.М. *Методы многомерного анализа статистических данных*. М.: Финансы и статистика; 2008.
20. Малых О.Л., Кочнева Н.И., Никонов Б.И., Шевчик А.А., Цепилова Т.М. Интегрированная система управления риском для здоровья населения на региональном и муниципальном уровнях. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1136–40. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1136-1140>
21. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.Л., Ярушин С.В. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129>
22. Петров В.И., Авалиани С.Л., Латышевская Н.И., Филатов Б.Н., Герусова Г.П., Вишневецкая Л.П. и соавт. *Экологический риск для здоровья населения*. Волгоград: Царицын; 2000.
23. Елохин А.Н. *Анализ и управление риском: теория и практика*. М.: ПолиМедиа; 2002.
24. Голуб А.А., Струкова Е.Б., Дудек Д., Сафонов Г.В. *Рыночные методы управления окружающей средой*. М.; 2002.
25. Четыркин Е.М. *Финансовый анализ производственных инвестиций*. М.: Дело; 2002.
26. Keller D.A., Juberg D.R., Catlin N., Farland W.H., Hess F.G., Wolf D.C. et al. Identification and Characterization of Adverse Effects in 21st Century Toxicology. *Toxicol. Sci.* 2012; 126 (2): 291–7.
27. Щербо А.П., Киселев А.В., Негриенко К.В., МIRONENKO О.В., Филатов В.Н. *Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска*. СПб.; 2002.
28. Щербо А.П., Киселев А.В. *Оценка риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье*. СПб.; 2005.

References

1. Rakhmanin Yu.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., Sinitsyna O.O., Shashina T.A. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Analiz riska zdorov'yu*. 2015; (2): 4–9.
2. Andreeva E.E. Assessment of risk to public health from the hazards of atmospheric air according to social and hygienic monitoring. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2016; (10): 15–8. (in Russian)
3. Savilov E.D., Anganova E.V., Il'ina S.V., Stepanenko L.A. Technogenic environmental pollution and the public health: analysis and prognosis. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(6): 507–12. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-507-512> (in Russian)
4. Boev V.M., Karpenko I.L., Barkhatova L.A., Kudusova L.Kh., Zelenina L.V. Monitoring of aerogenic chemical loading on the inhabited territories of the industrial city. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2016; (1): 11–3. (in Russian)
5. Fridman K.B., Kryukova T.V. Urbanization – a factor that increases the risk for health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(1): 8–11. (in Russian)
6. Krupskaya D.A., Urban Yu.E., Kondreskul I.V., Amvros'ev P.A. Use of health risk assessment in practice of sanitary surveillance over ambient air quality. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2016; (26): 29–31. (in Russian)
7. Kleyn S.V., Zaytseva N.V., May I.V., Balashov S.Yu., Zagorodnov S.Yu., Goryaev D.V., et al. Working out ambient air quality measuring programs for socio-hygienic monitoring: practical experience of federal project «Clean air» activity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(11): 1196–202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202> (in Russian)
8. Report «On the state and protection of the environment of the Kemerovo region-Kuzbass in 2019». Кемерово; 2020. (in Russian)
9. Kolpakova A.F. On the relationship of anthropogenic air pollution by particulate matter with cancer risk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(3): 298–302. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-298-302> (in Russian)
10. Kostarev V.G., Zaytseva N.V., Kleyn S.V., Sedusova E.V., Andriushunas A.M. Hygienic analysis of the structural distribution of potential risks forming danger to the health of the population and workers in employees industrial enterprise. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(11): 1301–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1301-1307> (in Russian)
11. Blagodareva M.S., Kornilov A.S., Yarushin S.V., Malykh O.L. On methodological approaches to evaluation of multifactor risk for population exposed to environmental hazards. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; (11): 41–5. (in Russian)
12. Avaliani S.L., Andrianova M.M., Pechennikova E.V., Ponomareva O.V. *Environmental Health Risk Assessment (World Experience) [Okruzhayushchaya sreda. Otsenka riska dlya zdorov'ya (mirovoy opyt)]*. Moscow: RCI; 1996. (in Russian)
13. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. *Basics for Assessing the Risk to Public Health when Exposed to Chemicals that Pollute the Environment [Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu]*. Moscow; 2002. (in Russian)
14. Kolemaev V.A., Kalinina V.N. *Theory of Probability and Mathematical Statistics [Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika]*. Moscow: INFRA-M; 2000. (in Russian)
15. Dougherty C. *Introduction to Econometrics [Vvedenie v ekonometriku]*. Oxford: Oxford University Press; 1992. (in Russian)
16. Dubrov A.M. *Component Analysis and Efficiency in Economics [Komponentnyy analiz i effektivnost' v ekonomike]*. Moscow: Finansy i statistika; 2002. (in Russian)
17. Glin'kiy V.V., Ionin V.G. *Statistical Analysis [Statisticheskiy analiz]*. Moscow: INFRA-M; 2002. (in Russian)
18. Kim J.O., Mueller C.W. *Factor Analysis: Statistical Methods and Practical Issues*. Eleventh Printing; 1986.
19. Simchera V.M. *Methods for Multivariate Analysis of Statistical Data [Metody mnogomernogo analiza statisticheskikh dannykh]*. Moscow: Finansy i statistika; 2008. (in Russian)
20. Malykh O.L., Kochneva N.I., Nikonov B.I., Shevchik A.A., Tsepilova T.M. The integrated system of health risk management at the regional and municipal levels. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1136–40. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1136-1140> (in Russian)
21. Popova A.Yu., Gurchik V.B., Kuz'min S.V., Mishina A.L., Yarushin S.V. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129> (in Russian)
22. Petrov V.I., Avaliani S.L., Latshevskaya N.I., Filatov B.N., Gerusova G.P., Vishnevetskaya L.P., et al. *Environmental Risk for Public Health [Ekologicheskii risk dlya zdorov'ya naseleniya]*. Volgograd: Tsaritsyn; 2000. (in Russian)
23. Elokhin A.N. *Risk Analysis and Management: Theory and Practice [Analiz i upravlenie riskom: teoriya i praktika]*. Moscow: PoliMedia; 2002. (in Russian)
24. Golub A.A., Strukova E.B., Dudek D., Safonov G.V. *Market Methods of Environmental Management [Rynochnye metody upravleniya okruzhayushchey sredoy]*. Moscow; 2002. (in Russian)
25. Chetyrkin E.M. *Financial Analysis of Production Investments [Finansovyy analiz proizvodstvennykh investitsiy]*. Moscow: Delo; 2002. (in Russian)
26. Keller D.A., Juberg D.R., Catlin N., Farland W.H., Hess F.G., Wolf D.C. et al. Identification and Characterization of Adverse Effects in 21st Century Toxicology. *Toxicol. Sci.* 2012; 126 (2): 291–7.
27. Shcherbo A.P., Kiselev A.V., Negrienko K.V., MIRONENKO O.V., Filatov V.N. *Environment and Health: Approaches to Risk Assessment [Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e: podkhody k otsenke riska]*. St. Petersburg; 2002. (in Russian)
28. Shcherbo A.P., Kiselev A.V. *Assessment of the Risk of Exposure to Environmental Factors on Health [Otsenka riska vozdeystviya faktorov okruzhayushchey sredy na zdorov'e]*. St. Petersburg; 2005. (in Russian)