

Ракитский В.Н.¹, Стёпкин Ю.И.², Клепиков О.В.^{2,3,4}, Куролап С.А.³

Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания

¹ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия;²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» Роспотребнадзора, 394038, Воронеж, Россия;³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ, 394018, Воронеж, Россия;⁴ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Министерства науки и высшего образования РФ, 394036, Воронеж, Россия

Введение. Высокий уровень загрязнения окружающей среды в промышленных городах, в том числе канцерогенами, обуславливает неприемлемый риск для здоровья населения. В этой связи необходима количественная оценка риска для последующей разработки профилактических мероприятий по его снижению.

Целью исследования являлась оценка канцерогенного риска для здоровья населения промышленно развитого города, обусловленного вероятным присутствием канцерогенов в атмосферном воздухе, питьевой воде системы централизованного водоснабжения, почве селитебной территории.

Материалы и методы. В качестве исходных данных использованы результаты лабораторного контроля содержания канцерогенов в объектах окружающей среды города Воронежа за 2017–2020 гг. Канцерогенный риск оценивали в соответствии с положениями Руководства Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Результаты. С учётом региональных особенностей состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух к приоритетным канцерогенам, требующим систематического контроля и проведения мероприятий по снижению объёма выбросов и соответственно концентраций в приземном слое атмосферного воздуха, следует отнести 1,3-бутадиен (источник – производство синтетического каучука) и соединения хрома⁶⁺ (основной источник – авиационный завод), которые вносят соответственно 69,9–75,7 и 21,7–26,9% в суммарные величины индивидуального канцерогенного риска, который превышает предельно допустимый уровень ($1 \cdot 10^{-4}$). Канцерогенный риск от воздействия загрязнителей питьевой воды (галоген-содержащие органические вещества) и почвы (при сценарии случайного заглатывания детьми дошкольного возраста) находится ниже величины предельно допустимого риска ($1 \cdot 10^{-4}$).

Заключение. Необходимо обратить внимание на вопросы повышения чувствительности применяемых методов лабораторного контроля, расширения перечня контролируемых канцерогенных загрязнителей, совершенствования системы мониторинга канцерогенов и реализации мероприятий по снижению канцерогенного риска, связанного с загрязнением атмосферного воздуха.

Ключевые слова: атмосферный воздух; питьевая вода; почва; загрязнение; канцерогены; риск здоровью

Для цитирования: 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; 100 (3): 188–195. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195>

Для корреспонденции: Клепиков Олег Владимирович, доктор биол. наук, профессор кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Минобрнауки РФ, 394036, Воронеж. E-mail: klepa1967@rambler.ru

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

Благодарность. Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 20-17-00172 «Урбоэкодиагностика состояния воздушной среды крупных промышленных городов Центрального Черноземья: воздействие шумового фактора, канцерогенные риски и обеспечение экологической безопасности».

Участие авторов: Ракитский В.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Стёпкин Ю.И. – организация и проведение лабораторных исследований атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы; Клепиков О.В. – обработка данных лабораторных исследований, анализ материала, подготовка и редактирование статьи; Куролап С.А. – расчёт канцерогенных рисков, общий анализ материала, подготовка выводов.

Поступила 14.09.2020 / Принята к печати 10.03.2021 / Опубликована 16.04.2021

Valery N. Rakitskii¹, Yuriy I. Stepkin², Oleg V. Klepikov^{2,3,4}, Semyon A. Kurolap³

Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health

¹Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F.Erisman of the Federal Service for supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation;²Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region of the Federal Service for supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Voronezh, 394038, Russian Federation;³Voronezh State University, Voronezh, 394018, Russian Federation;⁴Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 394036, Russian Federation

Introduction. The high level of environmental pollution in industrial cities, including carcinogens, causes an unacceptable risk to public health. In this regard, a quantitative risk assessment is required to develop preventive measures to reduce it.

The aim of the study was to assess the carcinogenic risk to the health of the population of an industrialized city, caused by the probable presence of carcinogens in the ambient air, drinking water of the centralized water supply system, and the soil of the residential area.

Material and research methods. The laboratory control of the content of carcinogens in environmental objects of the city of Voronezh for 2017–2020 was used as the reference data. The carcinogenic risk was assessed under the provisions of Guideline R. 2.1.10.1920-04 “Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment.”

Results. Taking into account the regional peculiarities of the composition of pollutant emissions into the atmospheric air, 1,3-butadiene (source - production of synthetic rubber) should be classified as priority carcinogens requiring systematic monitoring and measures to reduce emissions and, accordingly, concentrations in

Original article

the surface layer of atmospheric air and chromium⁶⁺ compounds (the main source is an aircraft plant), which contribute 69.9–75.7% and 21.7–26.9%, respectively, to the total values of the individual carcinogenic risk, which exceeds the maximum permissible level ($1 \cdot 10^{-4}$). The carcinogenic risk from exposure to drinking water pollutants (halogenated organic substances) and soil (under the scenario of accidental ingestion by preschool children) is below the maximum permissible risk ($1 \cdot 10^{-4}$).

Conclusion. It is necessary to pay attention to increasing the sensitivity of the applied laboratory control methods, expanding the list of controlled carcinogenic pollutants, improving the monitoring system of carcinogens, and implementing measures to reduce the carcinogenic risk associated with atmospheric air pollution.

Keywords: atmospheric air; drinking water; soil; pollution; carcinogens; health risk

For citation: Rakitskii V.N., Stepkin Yu.I., Klepikov O.V., Kurolap S.A. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (3): 188–195. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195> (In Russ.)

For correspondence: Oleg V. Klepikov, MD, Ph.D., DSci., Professor of the Department of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Productions of the Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 394036, Russian Federation Voronezh State University, Voronezh, 394038, Russian Federation. E-mail: klepa1967@rambler.ru

Information about the authors:

Rakitskii V.N., <https://orcid.org/0000-0002-9959-6507>; Stepkin Yu.I., <https://orcid.org/0000-0003-1255-293X>
Klepikov O.V., <https://orcid.org/0000-0001-9228-620X>; Kurolap S.A., <https://orcid.org/0000-0002-6169-8014>

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

Acknowledgment. The study was carried out within the framework of the Russian Science Foundation project No. 20-17-00172 “Urboecodiagnosics of the state of the air environment in large industrial cities of the Central Black Earth Region: the impact of the noise factor, carcinogenic risks and ensuring environmental safety.”

Contribution of the authors: *Rakitskii V.N.* – concept and design of the research, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; *Stepkin Yu.I.* – organization and conduct of laboratory tests of atmospheric air, drinking water, soil; *Klepikov O.V.* – processing of laboratory research data, material analysis, preparation and editing; *Kurolap S.A.* – calculation of carcinogenic risks, general analysis of the material, preparation of conclusions.

Received: September 14, 2020 / Accepted: March 10, 2021 / Published: April 16, 2021

Введение

Оценка риска для здоровья населения, в том числе канцерогенного, как правило, проводится в рамках действующей системы социально-гигиенического мониторинга, правовая и нормативно-методическая база которого постоянно развивается, что необходимо для эффективной разработки приоритетных мероприятий по обеспечению гигиенической безопасности населения и реализации риск-ориентированного надзора [1].

Во многих гигиенических исследованиях обращается внимание на имеющий место высокий уровень канцерогенного риска для здоровья населения, обусловленный воздействием загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий и автотранспорта [2–7].

По данным В.М. Боева и соавт., наиболее часто уровни канцерогенных рисков, превышающие предельно допустимый уровень ($1 \cdot 10^{-4}$), регистрируются на территориях городов, где сконцентрированы предприятия 1-го и 2-го классов опасности по санитарной классификации [7]. Этот вывод подтверждён, например, исследованиями, проведёнными на территории Республики Башкортостан в городах Уфа, Стерлитамак, Салават, где сосредоточены предприятия нефтехимического комплекса, а на селитебной территории вблизи промышленных объектов уровни суммарного канцерогенного риска варьируются от $6,4 \cdot 10^{-4}$ до $8,9 \cdot 10^{-4}$ при наибольшем вкладе в его величину концентраций бензола, формальдегида и сажи [8]. В исследованиях С.В. Клейн и соавт. показано, что в зонах влияния выбросов горно-обогатительных комбинатов и воздушной миграции канцерогенов с мест складирования их отходов суммарный индивидуальный канцерогенный риск может достигать $2,11 \cdot 10^{-3}$, что в 211 раз выше его предельно допустимой величины [9].

Вместе с тем во многих городах приоритетный вклад в величину аэротехногенного канцерогенного риска вносят выбросы автотранспорта. Так, О.И. Копытенкова и соавт. в своих исследованиях показали, что для дорожно-автомобильного комплекса с интенсивностью движения транспорта от 500 до 7000 авт./ч, по расчётным данным, канцерогенный риск, особенно по формальдегиду, в придорожной зоне может значительно превышать допустимый уровень, а также обратили внимание, что оценка выбросов от автотранспорта проводится без учёта процесса трансформации метана в формальдегид [10].

В ряде исследований обращено внимание на канцерогенные риски, связанные с качеством питьевой воды. В частности, в работе Е.А. Кузьминой с соавт. на примере промышленного центра – города Екатеринбург, показано, что

суммарный канцерогенный риск, обусловленный показателями качества питьевой воды, а именно наличием галоген-содержащих органических соединений (хлороформа, углевода четырёххлористого, бромдихлорметана, бромформа и дибромхлорметана), из системы централизованного водоснабжения после процессов водоподготовки находится на уровне от $3,27 \cdot 10^{-5}$ до $6,74 \cdot 10^{-5}$ и соответствует предельно допустимому риску, то есть верхней границе приемлемого риска [11]. На проблему влияния хлороорганических соединений, содержащихся в воде сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, на здоровье населения в городах Пермского края обращено внимание в работе А.С. Сбоева и К.В. Романенко, которые выявили неприемлемый уровень суммарного индивидуального канцерогенного риска на Камском (до $4,31 \cdot 10^{-4}$) и Краснокаменском (до $3,59 \cdot 10^{-4}$) водозаборах, что требует разработки и проведения мероприятий по его снижению [12]. Аналогичные исследования проведены Е.А. Пивоваровой и Н.Ю. Шибановой в Республике Хакасия, на территории которой в питьевой воде ряда источников в пределах ПДК обнаружены канцерогенно опасные вещества: кадмий, свинец, мышьяк, бериллий, хром, а индивидуальные канцерогенные риски оцениваются на уровне от $5,29 \cdot 10^{-5}$ до $1,04 \cdot 10^{-4}$ [13]. В исследованиях П.Ф. Кичу и соавт., выполненных на примере Приморского края, показано, что индивидуальный канцерогенный риск находится в пределах от пренебрежительно малого до верхней границы приемлемого канцерогенного риска, а также обращено внимание на наличие мышьяка в питьевой воде на ряде территорий, который вносит наибольший вклад в уровень канцерогенного риска [14]. На неприемлемые канцерогенные риски, связанные с использованием подземных вод с высоким содержанием мышьяка в качестве источников питьевого водоснабжения, обращено внимание в исследованиях, проведённых в Республике Дагестан [15, 16].

Следует обратить внимание, что относительно воздушной среды и питьевой воды реже встречаются исследования по оценке канцерогенного риска, связанного с загрязнением почвы селитебной территории городов, поскольку речь идёт об опосредованном влиянии. В работе И.В. Колнет и Е.М. Студеникиной по результатам мониторинга загрязнения почвы территорий детских дошкольных образовательных учреждений и рассмотрения гипотезы перорального пути поступления (случайного заглатывания почвы при облизывании рук, игрушек) показано, что при использовании стандартных факторов экспозиции для детей до 6 лет величины индивидуального канцерогенного риска относятся к первому диапазону (риск, равный или меньше $1 \cdot 10^{-6}$), то есть риск является пренебрежимо малым, не требующим мер по

его снижению [17]. Вместе с тем исследованиями А.Н. Дерябина и соавт., проведёнными на территории Архангельской области, которая выбрана как наиболее неблагополучный регион, лидирующий среди субъектов Российской Федерации по доле проб почвы селитебных территорий с превышением санитарно-химических нормативов содержания загрязняющих веществ в почве, показано, что наибольшие величины суммарного индивидуального канцерогенного риска в городе Северодвинск на уровне медианы и 90-го перцентиля составили до $9,1 \cdot 10^{-4}$ и $2,3 \cdot 10^{-3}$ соответственно, значительно превысив предельно допустимый уровень [18].

Цель исследования — оценка канцерогенного риска для здоровья населения промышленно развитого города Воронежа, обусловленного вероятным присутствием канцерогенов в атмосферном воздухе, питьевой воде, почве селитебной территории.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использованы результаты лабораторного контроля содержания канцерогенов в атмосферном воздухе, питьевой воде централизованного водоснабжения и почве детских дошкольных образовательных учреждений города Воронежа за 2017–2020 гг., полученные ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» в рамках выполнения государственного задания ведения социально-гигиенического мониторинга, а также данные стационарных постов наблюдения Воронежского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Канцерогенный риск оценивали в соответствии с положениями Руководства Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

Алгоритм оценки канцерогенного риска включал стандартные этапы: 1) идентификация опасности; 2) оценка зависимости «доза-ответ»; 3) оценка экспозиции (расчёт средних концентраций канцерогенов на трёх типах территорий, определение вероятных среднесуточных доз); 4) количественная оценка индивидуального канцерогенного риска для возрастных групп (атмосферный воздух — дети 6 лет, взрослые; питьевая вода из системы централизованного водоснабжения — взрослые; почва территории дошкольных образовательных учреждения — дети 6 лет). Расчёты канцерогенного риска выполнялись для уровня средней концентрации канцерогена. Верхней границей приемлемого канцерогенного риска, то есть предельно допустимым риском является величина $1 \cdot 10^{-4}$ (или 1 дополнительный случай онкологического заболевания среди 10 000 населения).

В расчёте канцерогенного риска использованы стандартные значения показателей экспозиции, в частности для атмосферного воздуха время пребывания в месте экспозиции принимали 24 ч в сутки, объём перорального поступления для питьевой воды — 2 л в сутки, почвы (дети 6 лет) — 200 мг в сутки.

Результаты

Идентификация опасности. Анализ данных паспортизации канцерогеноопасных производств и организаций, реестр которых ведётся в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», показал, что в настоящее время (2020 г.) в региональной базе данных зарегистрировано 206 санитарно-гигиенических паспортов.

К наиболее крупным предприятиям города Воронежа, в выбросах которых, по данным инвентаризации и проектов предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух, присутствуют канцерогены, отнесены предприятия химической промышленности (АО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод»), станкостроительного и машиностроительного комплекса (ОАО «Станкостроительный завод»,

ЗАО «Воронежстальмост», ОАО «Рудгормаш»), самолётостроения (ПАО «ВАСО»), а также мебельные предприятия, предприятия электротехнической промышленности и строительной отрасли. В региональном реестре канцерогеноопасных производств учтено 18 наименований канцерогенных веществ. Установлено, что на предприятиях и в организациях города Воронежа имеются следующие канцерогенные факторы химической природы, учтённые в проектах ПДВ: 1,3-бутадиен, 3,4-бенз(а)пирен, акрилонитрил, бензидин, бензол, винилхлорид, кремний диоксид кристаллический в форме кварца и кристобалита, масло минеральное, мышьяк и его неорганические соединения, никель и его соединения, пыль древесная твёрдых пород, сажа, свинец, стирол, тетрахлорэтилен, формальдегид, хром шестивалентный, эпихлоргидрин. Кроме того, известно, что наиболее распространёнными канцерогенами, присутствующими в выбросах от автотранспорта, являются 3,4-бенз(а)пирен, сажа и формальдегид.

В этой связи актуальность организации регионального мониторинга содержания канцерогенов в атмосферном воздухе и оценки канцерогенного риска для здоровья населения не вызывает сомнений.

Система мониторинга воздушной среды города Воронежа включает 5 стационарных (Воронежский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) и 5 маршрутных (ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области») постов наблюдений. Из числа канцерогенов на стационарных постах контролируется содержание в атмосферном воздухе формальдегида и сажи (ежедневный отбор проб на определение среднесуточных концентраций); на маршрутных, в зависимости от близости к источникам выбросов, определяются концентрации в воздухе формальдегида, сажи, свинца, соединений хрома⁶⁺, 1,3-бутадиена, стирола (ежегодно в каждой точке отбирается не менее 20 проб воздуха на определение среднесуточных концентраций).

Стационарные посты наблюдения расположены в зонах влияния крупных промышленных предприятий и автотранспорта, как правило, на внешних границах санитарно-защитных зон предприятий или на границах ближайшей к крупным промышленным объектам жилой застройки. Маршрутные посты отбора проб атмосферного воздуха расположены непосредственно на территории жилой застройки. Вместе с тем при выборе местоположения маршрутных постов учитывалось решение различных задач по оценке канцерогенного риска для здоровья. На маршрутном посту № 1 (ул. Березовая роща, 8а) выполняются задачи фонового мониторинга. Эта точка отбора проб воздуха удалена от ведущих промышленных источников от 3 до 10 км, с двух сторон примыкает лесопарковая зона, ближайшая транзитная автомагистраль на расстоянии 0,5–0,7 км. Точки отбора проб воздуха маршрутных постов № 2 (ул. 60 Армии, 27), № 3 (пр. Патриотов, 24) и № 4 (Ленинский пр., 154) выбраны для получения данных об уровне загрязнения атмосферного воздуха от наиболее загруженных сквозных автомагистралей, соединяющих районы города, поскольку автотранспорт, по различным оценкам, вносит от 84 до 90% в общий объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух территории города. Точка отбора проб № 5 (ул. Ростовская, 58/4) служит для контроля уровня загрязнения в наиболее приближенном к четырём ведущим промышленным источникам (производство синтетического каучука, производство шин, ТЭЦ, авиационный завод) селитебном микрорайоне, удалённость от промплощадок предприятий составляет 1–2 км.

Исходя из мест расположения стационарных и маршрутных постов наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, данные для оценки риска здоровью населения сгруппированы по трём условно выделённым типам селитебных территорий: 1) территория с преимущественным вкладом в уровень загрязнения воздуха автотранспорта (транспортная); 2) территория с доминирующим вкладом промышленного сектора (промышленная); 3) относительно

благополучная территория, удалённая от крупных уличных магистралей и промышленных источников выбросов (фон).

Оценка канцерогенного риска, обусловленного вероятным присутствием канцерогенов в питьевой воде (галогенсодержащих органических соединений), включала эти же этапы, но проведена на основе выборочного исследования оценки безопасности и эффективности водоподготовки (обеззараживания воды) на водоподъёмных станциях города Воронежа при выходе воды в распределяющую водопроводную сеть (20 анализов в 2 контрольных точках). Для питьевой воды выполнено определение концентраций тетрахлорэтилена, дихлорбромметана, углерода четырёххлористого, хлороформа, бромформа, трихлорэтилена.

Для идентификации опасности, связанной с загрязнением почвы селитебной территории (территории детских образовательных учреждений), в ходе исследования про-

анализированы результаты оценки 4 и 5 контролируемых санитарно-химических показателей, относящихся к канцерогенам: концентраций бенз(а)пирена, кадмия, мышьяка, свинца. Для никеля расчёт не проведён из-за отсутствия значения фактора наклона (фактора канцерогенного потенциала) при пероральном поступлении. Лабораторное определение концентраций веществ в почве осуществлялось метрологически аттестованными методами в 22 контрольных точках с периодичностью контроля не менее двух раз в год.

Оценка зависимости «доза-ответ». При оценке зависимости «доза-ответ» для загрязнений атмосферного воздуха использовали величины фактора канцерогенного потенциала при ингаляционном воздействии веществ, для питьевой воды из системы централизованного водоснабжения и почвы территории детских дошкольных учреждений – при пероральном пути поступления (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Факторы канцерогенного потенциала (по Р 2.1.10.1920-04) (мг/(кг • сут)⁻¹)

Factors of carcinogenic potential (according to Guidelines for Assessing Public Health Risks from Exposure to Environmental Polluting Chemicals R 2.1.10.1920-04) (mg/(kg • day)⁻¹)

Вещество Substance	Номер CAS* Number CAS*	Подгруппа канцерогена Carcinogen subgroup		Фактор канцерогенного потенциала Carcinogenic potential factor SF	Путь воздействия Route of exposure
		МАИР** IARC**	ЕРА*** EPA***		
<i>Атмосферный воздух / Ambient air</i>					
Формальдегид Formaldehyde	50-00-0	2A	B1	0.046	Ингаляционный Inhalational
Свинец Lead	7439-92-1	2A	B2	0.042	Ингаляционный Inhalational
Сажа Soot	1333-86-4	1	Нет данных No data	0.0155	Ингаляционный Inhalational
Хром ⁶⁺ Chromium ⁶⁺	18540-29-9	1	A	42	Ингаляционный Inhalational
1,3-бутадиен 1,3-butadiene	106-99-0	2A	A/B2	0.105	Ингаляционный Inhalational
Стирол Styrene	100-42-5	2B	C	0.002	Ингаляционный Inhalational
<i>Питьевая вода из системы централизованного водоснабжения / Drinking water from the centralized water supply system</i>					
Тетрахлорэтилен Tetrachlorethylene	127-18-4	2A	B2	0.002	Пероральный Peroral
Дихлорбромметан (бромдихлорметан) Dichlorobromomethane	75-27-4	2B	B2	0.062	Пероральный Peroral
Углерод четырёххлористый (тетрахлорметан) Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	56-23-5	2B	B2	0.13	Пероральный Peroral
Хлороформ Chloroform	67-66-3	2B	B2	0.0061	Пероральный Peroral
Бромформ Bromoform	75-25-2	3	B2	0.0079	Пероральный Peroral
Трихлорэтилен Trichlorethylene	79-01-6	2A	B2	0.011	Пероральный Peroral
<i>Почва территории дошкольных образовательных учреждений / The soil of the territory of preschool educational institutions</i>					
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	50-32-8	2A	B2	7.3	Пероральный Peroral
Кадмий Cadmium	7440-43-9	1	B1	0.38	Пероральный Peroral
Мышьяк Arsenic	7440-38-2	1	A	1.5	Пероральный Peroral
Свинец Lead	7439-92-1	2A	B2	0.047	Пероральный Peroral

Примечание. * – Регистрационный номер вещества в реестре CAS (Chemical Abstracts Service); ** – МАИР – международное агентство по изучению рака; *** – ЕРА – Агентство по защите окружающей среды США.

Note. * – Registration number of the substance in the register of CAS (Chemical Abstracts Service); ** – IARC International Agency for Research on Cancer; *** – EPA – the United States Environmental Protection Agency.

Таблица 2 / Table 2

Индивидуальный канцерогенный риск (ICR) от присутствия канцерогенов в атмосферном воздухе городской территории
Individual carcinogenic risk (ICR) from the presence of carcinogens in the atmospheric air of an urban area

Канцероген Carcinogen	Территория Territory					
	транспортная transport		промышленная industrial		фон background	
	взрослые adults	дети (6 лет) children (6 years)	взрослые adults	дети (6 лет) children (6 years)	взрослые adults	дети (6 лет) children (6 years)
Формальдегид Formaldehyde	$5.65 \cdot 10^{-5}$	$5.05 \cdot 10^{-6}$	$5.60 \cdot 10^{-5}$	$5.01 \cdot 10^{-6}$	$4.79 \cdot 10^{-5}$	$4.28 \cdot 10^{-6}$
Свинец Lead	$6.55 \cdot 10^{-7}$	$5.86 \cdot 10^{-8}$	$6.15 \cdot 10^{-7}$	$5.50 \cdot 10^{-8}$	$5.48 \cdot 10^{-7}$	$4.90 \cdot 10^{-8}$
Сажа (углерод) Soot (carbon)	$5.56 \cdot 10^{-5}$	$4.97 \cdot 10^{-6}$	$9.98 \cdot 10^{-5}$	$8.93 \cdot 10^{-6}$	$4.43 \cdot 10^{-5}$	$3.96 \cdot 10^{-6}$
Соединения хрома ⁶⁺ Chromium compounds ⁶⁺	$9.26 \cdot 10^{-4}$	$8.28 \cdot 10^{-5}$	$1.32 \cdot 10^{-3}$	$1.18 \cdot 10^{-4}$	Нет данных No data	Нет данных No data
1,3-бутадиен 1,3-butadiene	$3.23 \cdot 10^{-3}$	$2.89 \cdot 10^{-4}$	$3.42 \cdot 10^{-3}$	$3.06 \cdot 10^{-4}$	Нет данных No data	Нет данных No data
Стирол (этиленбензол) Styrene (ethenylbenzene)	$1.31 \cdot 10^{-7}$	$1.17 \cdot 10^{-8}$	$1.34 \cdot 10^{-7}$	$1.20 \cdot 10^{-8}$	Нет данных No data	Нет данных No data
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск Σ ICR Total individual carcinogenic risk Σ ICR	$4.27 \cdot 10^{-3}$	$3.82 \cdot 10^{-4}$	$4.90 \cdot 10^{-3}$	$3.38 \cdot 10^{-4}$	$9.27 \cdot 10^{-5}$	$8.29 \cdot 10^{-6}$

Для питьевой воды и почвы выбран пероральный путь поступления с соответствующими факторами канцерогенного потенциала по Р 2.1.10.1920-04.

Оценка экспозиции. Для канцерогенов, содержащихся в атмосферном воздухе, питьевой воде, почве, рассчитывали среднюю суточную дозу их поступления в организм в течение жизни по двум возрастным группам населения (дети 6 лет, взрослые) в соответствии с формулами и стандартными факторами экспозиции, закреплёнными в Р 2.1.10.1920-04.

Оценка риска. Индивидуальный канцерогенный риск (ICR) в течение жизни определяется по формуле $ICR = ADD \cdot SF_i$, где ADD – средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг · день); SF_i – фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг · день)⁻¹.

Установлено, что наибольшие индивидуальные канцерогенные риски для взрослого населения отмечаются по 1,3-бутадиену ($3,42 \cdot 10^{-3}$) и соединениям хрома⁶⁺ ($1,32 \cdot 10^{-3}$) на селитебной территории вблизи промышленных объектов (производства синтетического каучука и предприятия самолетостроения соответственно). Величины этих рисков, согласно оценочной шкале, относятся к четвёртому диапазону и классифицируются как неприемлемые для населения (табл. 2).

Для детского населения данные риски ниже, что обусловлено прежде всего меньшими значениями продолжительности времени воздействия в формуле расчёта доз (для взрослых, согласно рекомендациям расчёта среднесуточных доз при ингаляционном поступлении веществ с атмосферным воздухом, принято значение 30 лет, для детей 6 лет – 6 лет).

Как известно, предельно допустимая величина индивидуального канцерогенного риска составляет $1 \cdot 10^{-4}$, то есть 1 дополнительный случай онкологического заболевания на 10 000 населения. С учётом региональных особенностей состава выбросов в атмосферный воздух к приоритетным канцерогенам, требующим систематического контроля и проведения мероприятий по снижению объёма выбросов и соответственно концентраций в приземном слое атмосферного воздуха, следует отнести 1,3-бутадиен и соединения хрома⁶⁺. Данные вещества в зависимости от территории

(транспортная или промышленная) вносят соответственно 69,9–75,7 и 21,7–26,9% в суммарные величины индивидуального канцерогенного риска (от $4,27 \cdot 10^{-3}$ до $4,90 \cdot 10^{-3}$ для взрослого населения, от $3,38 \cdot 10^{-4}$ до $3,82 \cdot 10^{-4}$ для детей 6 лет).

По остальным лабораторно контролируемым канцерогенам (формальдегид, свинец, сажа, стирол) риски не превышают предельно допустимой величины. Вместе с тем сравнительный анализ данных с фоновой точкой (маршрутный пост № 1) имеет существенные неопределённости, так как определения концентраций соединений хрома⁶⁺, 1,3-бутадиена и стирола в данной точке не проводили, что необходимо учесть при совершенствовании системы регионального мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха.

При определении концентрации галогенсодержащих органических соединений, вероятно, присутствующих в питьевой воде, установлено, что вещества по результатам выполненных анализов не обнаружены на уровне чувствительности методов лабораторного контроля, а именно: тетрахлорэтилен < 0,05 мг/дм³, дихлорбромметан < 0,03 мг/дм³, четырёххлористый углерод < 0,01 мг/дм³, хлороформ < 0,1 мг/дм³, бромформ < 0,05 мг/дм³, трихлорэтилен < 0,03 мг/дм³. Рассчитанные на уровне чувствительности метода (нижнего предела обнаружения) канцерогенные риски составляют $7,43 \cdot 10^{-5}$, $5,31 \cdot 10^{-5}$, $3,71 \cdot 10^{-5}$, $1,74 \cdot 10^{-5}$, $3 \cdot 10^{-5}$, $1,13 \cdot 10^{-5}$, $9,45 \cdot 10^{-5}$ соответственно, то есть ниже предельно допустимого уровня ($1 \cdot 10^{-4}$).

Расчёты индивидуального канцерогенного риска от воздействия веществ, содержащихся в почве, при гипотетическом её случайном пероральном поступлении с рекомендованной Р 2.1.10.1920-04 величиной 200 мг/сутки показывают, что для бенз(а)пирена интервал значений индивидуального канцерогенного риска для детей в возрасте 6 лет составляет от $5 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$, кадмия – от $1,04 \cdot 10^{-9}$ до $1,08 \cdot 10^{-9}$, свинца – от $1,29 \cdot 10^{-9}$ до $1,55 \cdot 10^{-9}$, мышьяка (на уровне чувствительности метода) – < $8,22 \cdot 10^{-9}$. Таким образом, уровни рисков относятся к первому диапазону (равный или меньший $1 \cdot 10^{-6}$), определяются как пренебрежимо малые и не требующие принятия мер по их снижению.

Обсуждение

Как и для любого исследования, процесс и результат оценки канцерогенного риска для здоровья населения имеет неопределённости, которые в нашей работе связаны с применением стандартных формул расчёта доз без учёта индивидуальных особенностей организма, отсутствием возможности дифференцирования концентраций веществ в атмосферном воздухе и в воздухе помещений, источников потребления питьевой воды (фасованная или из системы централизованного водоснабжения), дискуссионным вопросом репрезентативности данных мониторинга и прежде всего ограниченным числом контрольных точек систематических наблюдений и выполненных в них определений концентраций веществ, а также ограниченным перечнем лабораторно контролируемого содержания канцерогенов в воздушной (6 из 18 веществ, учтённых в региональной паспортизации канцерогенно опасных производств), водной среде (6 веществ) и почве (4 вещества).

Обобщая материалы исследований по оценке канцерогенного риска, в целом можно говорить о приоритете вклада в его величину в городах загрязнения атмосферного воздуха, хотя, несомненно, в каждом регионе или на отдельных локальных территориях могут быть свои особенности. В статье А.Ю. Поповой и соавт. на примере городов, включённых в качестве приоритетных в федеральный проект «Чистый воздух», обращено внимание, что ориентация планирования и реализации воздухоохраных мероприятий исключительно на снижение валового выброса загрязняющих веществ как основного критерия эффективности обеспечения гигиенической безопасности населения и снижения риска его здоровью, связанного с воздействием техногенных загрязнителей атмосферного воздуха, недостаточна, и предлагается учитывать ряд критериев, в том числе и результаты количественной оценки канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью [19].

Проблема оценки риска здоровью населения является многогранной, поскольку сочетает в себе использование различных методических приёмов, совершенствование инструментального и лабораторного контроля воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды как основного объективного поставщика первичной информации для проведения исследований и научного обоснования управленческих решений в сфере первичной профилактики заболеваемости населения [20, 21].

Сравнивая результаты наших исследований с другими, ранее выполненными региональными работами (на примере г. Воронежа), следует отметить, что, например, в работе Е.М. Студеникиной и соавт. приводятся данные о показателях суммарного индивидуального канцерогенного риска на территориях с высокой техногенной нагрузкой, обусловленные присутствием трёх канцерогенов – соединений хрома⁶⁺, сажи, формальдегида, которые составляют от $1 \cdot 10^{-4}$, то есть от 1 случая онкологического заболевания среди 10 000 человек, до $1 \cdot 10^{-3}$, то есть 1 случая онкологического заболевания среди 1000 человек [21]. В целом же при оценке комплексной техногенной нагрузки на окружающую среду города Воронежа, характеризуемую комплексным коэффициентом, в исследовании 2018 г. определён ведущий вклад аэротехногенного фактора в её величину, и обращено внимание, что по степени канцерогенной опасности наиболее неблагоприятная ситуация отмечается в промышленном районе Воронежа вблизи самолётостроительного завода и предприятия по производству синтетического каучука [22].

Перечень приоритетных канцерогенов зависит от региональных особенностей наличия и размещения промышленных предприятий, а также градопланировочных решений. В частности, по результатам исследования, проведённого в Республике Татарстан, к приоритетным канцерогенам отнесены 1,3-бутадиен, 3,4-бензапирен, бензол, хлористый винил, соединения никеля [23]. В городе Москва, где ведущий вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха вносят выбросы от автотранспорта, более 95% величины ингаля-

ционного канцерогенного риска формируется за счёт вероятного поступления в организм бензола и формальдегида, а уровень суммарного канцерогенного риска варьируется от $7,31 \cdot 10^{-5}$ до $1,9 \cdot 10^{-4}$ [24]. В условиях высокой плотности населения и неоднородности уровня загрязнения атмосферного воздуха в столице популяционные канцерогенные риски, по оценкам А.В. Иваненко и соавт., которые для повышения репрезентативности результатов исследования использовали данные мониторинга трёх ведомств, составляет от 2 дополнительных случаев онкологических заболеваний в течение 70 лет в районе Куркино СЗАО до 48,1 в районе Выхино-Жулебино ЮВАО Москвы [25].

В условиях преобладающего вклада выбросов металлургического производства полного цикла в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Липецк) показано, что на расстоянии в 1 км от основной промплощадки предприятия ведущий вклад в формирование уровня канцерогенного риска вносят соединения хрома⁶⁺ (46,44–71,84%), бензол (9,24–35,83%), формальдегид (7,27–14,31%), а суммарная величина индивидуального канцерогенного риска превышает приемлемый уровень ($1 \cdot 10^{-4}$) [26]. В исследованиях Р.А. Голикова, проведённых на территории промышленно развитого города Новокузнецка, наибольшие уровни канцерогенного риска, выявленные на локальных внутригородских территориях, связаны с воздействием соединений хрома⁶⁺ [27].

В целом результаты наших исследований согласуются с данными этих и других работ [28, 29], но вместе с тем нужно обратить внимание на необходимость совершенствования мониторинга содержания канцерогенов в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве, так как известно, что канцерогены имеют беспороговое действие на организм человека.

Ещё одним значимым аспектом является разногласие величин ПДК и уровней канцерогенного риска здоровью. Так, в частности, по результатам наших исследований, отсутствовали превышения гигиенических нормативов содержания в атмосферном воздухе 1,3-бутадиена и хрома⁶⁺, но риск классифицировался как выше предельно допустимого. На эту же проблему на примере оценки канцерогенного риска от воздействия хрома⁶⁺ в г. Новокуйбышевске обращено внимание в статье В.В. Сучкова, что диктует необходимость синхронизации и совершенствования нормативной базы гигиенического нормирования и методологии оценки риска здоровью населения [30].

Результаты мониторинга важны для принятия адресных управленческих решений по снижению канцерогенного риска здоровью населения.

Заключение

По итогам проведённого исследования по оценке организации регионального мониторинга и канцерогенного риска для здоровья населения, обусловленного вероятным присутствием канцерогенов в объектах окружающей среды (атмосферном воздухе, питьевой воде и почве), можно сделать следующие выводы:

1. Территориальный охват площади городской территории Воронежа мониторингом содержания канцерогенов в атмосферном воздухе и число лабораторно определяемых канцерогенов (6 из 18 учитываемых в выбросах) является недостаточным для получения достоверной информации о величине канцерогенного риска для здоровья населения в зависимости от района проживания. Для снижения связанных с этим неопределённостей при оценке канцерогенного риска в рамках договора Воронежского государственного университета и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» (проект РНФ № 20-17-00172) запланированы исследования содержания 8 канцерогенов (1,3-бутадиен, формальдегид, свинец, сажа, хром⁶⁺, бензол, бенз(а)пирен, стирол), входящих в область аккредитации испытательного лабораторного центра, в 13 дополнительных контрольных точках городской территории.

2. С учётом региональных особенностей состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух к приоритетным канцерогенам, требующим систематического контроля и проведения мероприятий по снижению объёма выбросов и соответственно концентраций в приземном слое атмосферного воздуха, следует отнести 1,3-бутадиен (источник – производство синтетического каучука) и соединения хрома⁶⁺ (основной источник – авиационный завод). Данные вещества в зависимости от территории (транспортная или промышленная) вносят соответственно 69,9–75,7 и 21,7–26,9% в суммарные величины индивидуального канцерогенного риска (от $4,27 \cdot 10^{-3}$ до $4,90 \cdot 10^{-3}$

для взрослого населения, от $3,38 \cdot 10^{-4}$ до $3,82 \cdot 10^{-4}$ для детей 6 лет).

3. Канцерогенный риск от воздействия загрязнителей питьевой воды (галогенсодержащие органические вещества) и почвы (при сценарии случайного заглатывания детьми дошкольного возраста) находится ниже величины предельно допустимого риска ($1 \cdot 10^{-4}$). Вместе с тем необходимо обратить внимание на вопросы повышения чувствительности применяемых методов лабораторного контроля, расширения перечня контролируемых канцерогенных загрязнителей, совершенствование системы мониторинга содержания канцерогенов в объектах окружающей среды.

Литература

1. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А. Нормативно-правовые и методические аспекты интеграции социально-гигиенического мониторинга и риск-ориентированной модели надзора. *Анализ риска здоровью*. 2018; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.01>
2. Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Воробьева Л.М., Горяев Д.В. и соавт. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многофакторном воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(2): 88–92.
3. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кряжев Д.А., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Анализ канцерогенного риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье населения крупного промышленного города и заболеваемость злокачественными новообразованиями. *Здоровье населения и среда обитания*. 2016; (6): 4–7.
4. Звягинцева О.Ю., Звягинцев В.В. Оценка канцерогенного риска здоровью населения г. Чита от воздействия аэротоксикантов. *XXI век. Техносферная безопасность*. 2018; 3(4): 67–74. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-67-74>
5. Литвинова Н.А., Молотилова С.А. Влияние выбросов автотранспорта на заболеваемость и риск здоровью населения г. Тюмени. *Экология человека*. 2018; (8): 11–6.
6. Ревич Б.А. Качество атмосферного воздуха в мегаполисах и риски здоровью населения. В кн.: Ревич Б.А., Кузнецова О.В., ред. *Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования*. М.: ЛЕНАНД; 2018.
7. Боев В.М., Карпенко И.Л., Боев М.В., Бархатова Л.А., Зеленина Л.В., Кряжев Д.А. Гигиеническая оценка аэрогенного риска для здоровья населения в районах размещения предприятий I, II класса опасности с обоснованием размеров санитарно-защитных зон. *Медицина труда и экология человека*. 2018; (2): 5–10.
8. Бакиров А.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р., Степанов Е.Г. и соавт. Эколого-гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения техногенных территорий республики Башкортостан. *Медицина труда и экология человека*. 2018; (3): 5–12.
9. Клейн С.В., Вековшинина С.А., Балашов С.Ю., Хорошавин В.А., Ухабов В.М. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния мест складирования отходов горно-обогатительного комбината. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(1): 10–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-10-15>
10. Копытенькова О.И., Леванчук А.В., Еремин Г.Б. Гигиеническая характеристика воздушного бассейна в районе интенсивной эксплуатации дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 613–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-613-618>
11. Кузьмина Е.А., Кузнецов Е.О., Кузнецов В.Н., Бруснищина Л.А. Оценка канцерогенного риска здоровью, связанного с качеством питьевой воды, на примере крупного промышленного центра. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2015; 2(53): 62–4.
12. Сбоев А.С., Романенко К.В. Анализ влияния хлороорганических соединений, содержащихся в воде сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, на здоровье населения в городах Пермского края. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(1): 14–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-14-17>
13. Пивоварова Е.А., Шибанова Н.Ю. Оценка канцерогенного риска здоровью населения Республики Хакасия, обусловленного потреблением питьевой воды. *Анализ риска здоровью*. 2016; (3): 44–52.
14. Кикун П.Ф., Кислицына Л.В., Богданова В.Д., Сабирова К.М. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 94–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101>
15. Абдулмуталимова Т.О. Оценка канцерогенного риска здоровью населения при использовании подземных вод с высоким содержанием мышьяка в качестве источников питьевого водоснабжения на примере Республики Дагестан. *Токсикологический вестник*. 2019; (6): 39–44. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2019-6-39-44>
16. Абдулмуталимова Т.О., Ревич Б.А. Оценка канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного высоким содержанием мышьяка в питьевой артезианской воде Северного Дагестана. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(8): 743–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-743-746>
17. Коллет И.В., Студеникина Е.М. Организация мониторинга уровня загрязнения почвы для оценки риска здоровью детей. *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2017; (70): 100–5.
18. Дерябин А.Н., Унгурияну Т.Н., Бузинов Р.В. Риск здоровью населения, связанный с экспозицией химических веществ почвы. *Анализ риска здоровью*. 2019; (3): 18–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.02>
19. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01>
20. Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Диконская О.В., Никонов Б.И., Малых О.Л., Ярушин С.В. и соавт. Социально-гигиенический мониторинг и информационно-аналитические системы обеспечения оценки и управления риском для здоровья населения и риск-ориентированной модели надзорной деятельности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1130–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1130-1136>
21. Студеникина Е.М., Клепиков О.В., Куролап С.А., Мамчик Н.П. Риск здоровью городского населения при воздействии техногенных факторов окружающей среды. *Санитарный врач*. 2019; (11): 71–6. <https://doi.org/10.33920/med-08-1911-08>
22. Клепиков О.В., Самойлов А.С., Ушаков И.Б., Попов В.И., Куролап С.А. Комплексная оценка состояния окружающей среды промышленного города. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(8): 686–92. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-686-692>
23. Шлычков А.П., Минакова Е.А., Игонин Е.И. Канцерогенная нагрузка в муниципальных районах Республики Татарстан, обусловленная выбросами химических веществ в атмосферный воздух. *Российский журнал прикладной экологии*. 2016; (2): 26–31.
24. Судакова Е.В. Многосредовой канцерогенный риск здоровью населения города Москвы. *Здоровье населения и среда обитания*. 2015; (6): 13–6.
25. Иваненко А.В., Судакова Е.В., Скворцов С.А., Бестужева Е.В. Оценка риска здоровью населения от воздействия атмосферных загрязнений на отдельных территориях города Москвы. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 206–11. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-206-211>
26. Денисенко В.И., Ендальцева И.А., Заряева Е.В. Риск для здоровья населения, обусловленный воздействием загрязняющих веществ металлургического производства. *Санитарный врач*. 2011; (9): 57–60.
27. Голиков Р.А., Кислицына В.В., Суржиков Д.В., Олещенко А.М., Мукашева М.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха выбросами предприятия теплоэнергетики на здоровье населения Новокузнецка. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(6): 348–52. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352>
28. Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Коноплев А.В. Оценка многосредового риска для здоровья населения, проживающего на территориях интенсивной нефтедобычи. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2015; (1): 27–30.
29. Ефимова Н.В., Ханхареев С.С., Моторов В.Р., Мадеева Е.В. Оценка канцерогенного риска для населения города Улан-Удэ. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 90–3.
30. Сучков В.В., Семаева Е.А. Взаимосвязь величин предельно допустимых концентраций и уровня риска здоровью для аэрополлютантов. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(5): 442–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-442-445>

References

- Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V., Kir'yanov D.A. Regulatory-legal and methodical aspects of social-hygienic monitoring and risk-oriented surveillance model integration. *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.01> (in Russian)
- Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislytsin V.A., Vorob'eva L.M., Goryaev D.V., et al. Comparative assessment of the multimedia cancer health risks caused by contamination of the Krasnoyarsk kraj regions' environment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(2): 88–92. (in Russian)
- Boev V.M., Zelenina L.V., Kryazhev D.A., Tulina L.M., Neplokhov A.A. Analysis on exposure carcinogenic risk of environmental factors on health largest industrial cities and malignant tumors. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2016; (6): 4–7. (in Russian)
- Zvyagintseva O.Yu., Zvyagintsev V.V. Assessment of carcinogenic harm to health of the Chita population by inflicted by aerotoxicants. *XXI vek. Tekhnosfer'naya bezopasnost'*. 2018; 3(4): 67–74. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-67-74> (in Russian)
- Litvinova N.A., Molotilova S.A. The influence of motor transport emissions on morbidity and health risk of the population of Tyumen city. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (8): 11–6. (in Russian)
- Revich B.A. Ambient air quality in megacities and public health risks. In: Revich B.A., Kuznetsova O.V., eds. *A Person in a Metropolis: an Experience of Interdisciplinary Research [Chelovek v megapolise: opyt mezhdistsiplinarnogo issledovaniya]*. Moscow: LENAND; 2018. (in Russian)
- Boev V.M., Karpenko I.L., Boev M.V., Barkhatova L.A., Zelenina L.V., Kryazhev D.A. Hygienic assessment of aerogenic health risk for the population living near the hazardous class I, II enterprises with determination of sanitary protection zones sizes. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2018; (2): 5–10. (in Russian)
- Bakirov A.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Baktybaeva Z.B., Rakhmatullin N.R., Stepanov E.G., et al. Ecological-hygienic assessment of human carcinogenic health risk of technogenic territories in the Republic of Bashkortostan. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2018; (3): 5–12. (in Russian)
- Kleyan S.V., Vekovshinina S.A., Balashov S.Yu., Khoroshavin V.A., Ukhavov V.M. Hygienic evaluation of the carcinogenic risk to health of the population living in the zone of the exposure to places of the burial storage of waste of mining and processing enterprises. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(1): 10–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-10-15> (in Russian)
- Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Eremin G.B. Hygienic characteristics of the atmospheric air in the area of intensive use of the road-car complex. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 613–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-613-618> (in Russian)
- Kuz'mina E.A., Kuznetsov E.O., Kuznetsov V.N., Brusnitsina L.A. Assessment of carcinogenic health risks associated with the quality of drinking water on the example of a large industrial center. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*. 2015; 2(53): 62–4. (in Russian)
- Sboev A.S., Romanenko K.V. Analysis of the impact of organochlorine compounds contained in the water network of the domestic water supply on the health of population in cities of the Perm kraj. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(1): 14–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-14-17> (in Russian)
- Pivovarova E.A., Shibanova N.Yu. Evaluation of carcinogenic risk to public health of the Republic of Khakassia associated with consumption of drinking water. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; (3): 44–52. (in Russian)
- Kiku P.F., Kislytsyna L.V., Bogdanova V.D., Sabirova K.M. Hygienic evaluation of the quality of drinking water and risks for the health of the population of the Primorye territory. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 94–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101> (in Russian)
- Abdulmutalimova T.O. Assessment of carcinogenic risk to public health when using groundwater with high arsenic content as sources of drinking water supply on the example of the Republic of Dagestan. *Toksikologicheskii vestnik*. 2019; (6): 39–44. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2019-6-39-44> (in Russian)
- Abdulmutalimova T.O., Revich B.A. Assessment of carcinogenic risk to population health due to high arsenic content in drinking artesian water of the North Dagestan. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(8): 743–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-743-746> (in Russian)
- Kolnet I.V., Studenikina E.M. Organization of monitoring of soil pollution level for risk assessment to child health. *Nauchno-meditsinskiy vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*. 2017; (70): 100–5. (in Russian)
- Deryabin A.N., Unguryanu T.N., Buzinov R.V. Population health risk caused by exposure to chemicals in soils. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (3): 18–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.02> (in Russian)
- Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within «Pure air» federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01> (in Russian)
- Kuz'min S.V., Gurvich V.B., Dikonskaya O.V., Nikonov B.I., Malykh O.L., Yarushin S.V., et al. Socio-hygienic monitoring and information analysis systems supporting the health risk assessment and management and a risk-focused model of supervisory activities in the sphere of securing sanitary and epidemiologic public welfare. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1130–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1130-1136> (in Russian)
- Studenikina E.M., Klepikov O.V., Kurolap S.A., Mamchik N.P. Risk to the health of city population under the influence of technogenic factors of environment. *Sanitarnyy vrach*. 2019; (11): 71–6. <https://doi.org/10.33920/med-08-1911-08> (in Russian)
- Klepikov O.V., Samoylov A.S., Ushakov I.B., Popov V.I., Kurolap S.A. Comprehensive assessment of the state of the environment of the industrial city. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(8): 686–92. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-686-692> (in Russian)
- Shlychokov A.P., Minakova E.A., Igonin E.I. The cancerogenic loading in the municipal regions of the Republic of Tatarstan caused by emissions of chemicals in atmospheric air. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2016; (2): 26–31. (in Russian)
- Sudakova E.V. Multimedia carcinogenic health risk for the population of Moscow. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2015; (6): 13–6. (in Russian)
- Ivanenko A.V., Sudakova E.V., Skvortsov S.A., Bestuzheva E.V. Assessment of risks to the health of the population from air borne contaminants in certain areas of Moscow (based on the findings of on-going socio-hygienic monitoring). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(3): 206–11. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-206-211> (in Russian)
- Denisenko V.I., Endal'tseva I.A., Zaryaeva E.V. Risk for health of the population connected with pollution from metallurgical plant. *Sanitarnyy vrach*. 2011; (9): 57–60. (in Russian)
- Golikov R.A., Kislytsyna V.V., Surzhikov D.V., Oleshchenko A.M., Mukasheva M.A. Assessment of the impact of air pollution by heat power plant emissions on the health of the population of Novokuznetsk. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(6): 348–52. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-348-352> (in Russian)
- Pushkareva M.V., Leybovich L.O., Chirkova A.A., Konoplev A.V. Assessment of the multimedia risk to health of the population living in areas of intensive oil production. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 2015; (1): 27–30. (in Russian)
- Efimova N.V., Khankhareev S.S., Motorov V.R., Madeeva E.V. Assessment of the carcinogenic risk for the population of Ulan-Ude. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 90–3. (in Russian)
- Suchkov V.V., Semaeva E.A. Relationship between maximum permissible concentrations and level of health risk for air pollutants. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(5): 442–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-442-445> (in Russian)