



Овчинникова Е.Л.¹, Колчин А.С.¹, Крига А.С.², Новикова Ю.А.³

Канцерогенный риск для здоровья населения крупного промышленного города в результате многосредового и многомаршрутного воздействия химических веществ

¹ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 644099, Омск, Россия;

²Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области, 644001, Омск, Россия;

³ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В Омской области, несмотря на относительно низкий среднемноголетний уровень смертности населения от злокачественных новообразований, наблюдается повышенная заболеваемость раком, что в совокупности с показателями качества онкологической помощи¹ свидетельствует о напряжённой ситуации.

Цель исследования — определить приоритетные среды и маршруты воздействия химических веществ при формировании многолетних канцерогенных рисков на территории Омска.

Материалы и методы. Использованы результаты экологического и социально-гигиенического мониторинга объектов среды обитания за 2017–2022 гг. При оценке кумулятивного канцерогенного риска учитывали такие факторы, как атмосферный воздух, питьевая водопроводная вода, вода открытых водоёмов, почва, пищевые продукты, а также три маршрута воздействия: ингаляционный, пероральный и накожный. Оценка канцерогенных рисков проводилась в соответствии с Руководством Р 2.1.10.3968–23 с учётом коэффициента тяжести злокачественных новообразований.

Результаты. Канцерогенный риск для здоровья населения Омска в результате многосредового и многомаршрутного воздействия химических веществ оценивался как нарастающий (при агgravированном сценарии — высокий). Структура вкладов в кумулятивный канцерогенный риск: питьевая вода — 63,3%, атмосферный воздух — 33,1%, пищевые продукты — 3,3%, остальные среды — менее 0,5%. Основной путь поступления химических канцерогенов — ингаляционный (77,4%). Нарастающие канцерогенные риски формировались при ингаляционном пути поступления хлороформа из питьевой воды и хрома VI, формальдегида, бензола, сажи из атмосферного воздуха. Наибольший риск для органов-мишеней злокачественных новообразований, который оценивался как нарастающий, формировался в отношении желудочно-кишечного тракта.

Ограничения исследования. Проанализированы не все объекты среды обитания, что может снижать объективность выводов.

Заключение. Оценка многолетнего кумулятивного канцерогенного риска позволила расставить приоритеты в перечне химических загрязнителей, объектах среды, маршрутах воздействия канцерогенов. Для более точного планирования санитарно-гигиенических мероприятий по снижению рисков для здоровья населения, совершенствования комплексного мониторинга загрязняющих веществ во всех средах с учётом всех путей поступления в организм человека целесообразно проводить оценку суммарных рисков при многосредовой и многомаршрутной экспозиции с анализом долевого вклада в их формирование химических веществ, сред, маршрутов.

Ключевые слова: канцерогенный риск; химические вещества; многосредовое воздействие; Омск

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Овчинникова Е.Л., Колчин А.С., Крига А.С., Новикова Ю.А. Канцерогенный риск для здоровья населения крупного промышленного города в результате многосредового и многомаршрутного воздействия химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(8): 906–913. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-906-913> <https://elibrary.ru/dnazhr>

Для корреспонденции: Овчинникова Елена Львовна, канд. мед. наук, доцент ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России. E-mail: el-omsk@yandex.ru

Участие авторов: Овчинникова Е.Л. — концепция исследования, статистическая обработка материала, написание текста; Колчин А.С. — дизайн исследования, сбор и статистическая обработка данных, написание текста; Крига А.С. — концепция исследования, редактирование; Новикова Ю.А. — сбор данных литературы, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 03.05.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликована: 10.09.2024

¹ Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году / под ред. А.Д. Каприна [и др.]. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2022. 239 с.

Elena L. Ovchinnikova¹, Andrey S. Kolchin¹, Aleksander S. Kriga², Yuliya A. Novikova³

Carcinogenic risk to the health of the population of a large industrial city as a result of multi-environmental and multi-route exposure to chemicals

¹Omsk State Medical University, Omsk, 644099, Russian Federation;

²Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Omsk Region office, Omsk, 644001, Russian Federation;

³North-West Public Health Research Center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Despite the relatively low average annual mortality rate, the increased incidence of cancer in the population of the Omsk region, together with indicators of the quality of oncological care, indicate a tense epidemiological situation.

The purpose of the study is to determine priority environments and routes of exposure to chemicals in the formation of long-term carcinogenic risks in the city of Omsk.

Materials and methods. There were used results of environmental and social-hygienic monitoring of habitat objects for the period 2017–2022. To assess the cumulative carcinogenic risk, atmospheric air, drinking tap water, open water, soil, food products, and 3 routes of exposure were taken into account: inhalation, oral and cutaneous. The assessment of carcinogenic risks was carried out in accordance with Guideline R 2.1.10.3968–23, taking into account the severity coefficient of malignant neoplasms.

Results. The carcinogenic risk to the health of the population of the city of Omsk as a result of multi-environmental and multi-route exposure to chemicals was assessed as alarming (high in an engraved script). The structure of contributions to the cumulative carcinogenic risk: drinking water – 63.3%, atmospheric air – 33.1%, food products – 3.3%, other environments less than 0.5%. The main route of entry of chemical carcinogens is inhalation (77.4%). Alarming carcinogenic risks were formed through the inhalation route of chloroform from drinking water; chromium VI, formaldehyde, benzene, and soot from atmospheric air. Among the target organs of malignant neoplasms, the greatest risk was in the gastrointestinal tract, which was assessed as alarming.

Limitations. Not all habitat objects were analyzed, which may reduce the objectivity of the conclusions.

Conclusion. An assessment of the long-term cumulative carcinogenic risk made it possible to prioritize the list of chemical pollutants, environmental objects, and routes of exposure to carcinogens. For more accurate planning of sanitary and hygienic measures to reduce public health risks, improve comprehensive monitoring of pollutants in all environments, taking into account all routes of entry into the human body, it is advisable to analyze the total risks for multi-environmental and multi-route exposure with an analysis of the contribution of chemicals, media, routes to their formation.

Keywords: carcinogenic risk; chemicals; multi-environmental impact; Omsk

Compliance with ethical standards. The study does not require the presentation of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Ovchinnikova E.L., Kolchin A.S., Kriga A.S., Novikova Yu.A. Carcinogenic risk to the health of the population of a large industrial city as a result of multi-environmental and multi-route exposure to chemicals. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(8): 906–913. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-906-913> <https://elibrary.ru/dnazhr> (In Russ.)

For correspondence: Elena L. Ovchinnikova, MD, PhD, Associate Professor, Omsk State Medical University, Omsk, 644099, Russian Federation. E-mail: el-omsk@yandex.ru

Contribution: Ovchinnikova E.L. – concept of the study, statistical processing of the material, writing the text; Kolchin A.S. – research design, data collection and statistical processing, text writing; Kriga A.S. – research concept, editing; Novikova Yu.A. – collection of literature data, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: May 3, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: September 10, 2024

Введение

Анализ канцерогенного риска для здоровья населения крупных промышленных городов актуален в связи с высокими уровнями заболеваемости, смертности и инвалидности вследствие злокачественных новообразований (ЗНО). Уровни заболеваемости ЗНО городских жителей в последние шесть лет стабильно превышали аналогичные показатели у лиц, проживающих в сельской местности (на 14,2%)². Средняя многолетняя (2017–2022 гг.) заболеваемость ЗНО в Омской области выше, чем в среднем по России (на 16,2%) и Сибирскому федеральному округу (СФО) (на 2,7%), и составляет 275,9 на 100 тыс. населения (ДИ 268,9 ÷ 281,2).

В Омской области, несмотря на относительно низкий среднеевропейский уровень смертности населения от ЗНО (105,6 на 100 тыс. населения), наблюдается повышенная заболеваемость раком, что в совокупности с показателями

качества онкологической помощи³ свидетельствует о напряжённой ситуации.

В Омской области доля активно выявленных больных с ЗНО на I и II стадиях болезни в 2022 г. составляла 61,6%, что значительно ниже, чем в СФО (70,7%) и в среднем по России (75,4%), а доля больных с ЗНО, умерших от неонкологических болезней, самая высокая в Сибири – 44% (в СФО – 28,2%, в среднем по России – 30,4%).

В некоторых исследованиях авторы указывают на более высокие уровни ЗНО в тех промышленных городах, где объекты среды накапливают устойчивые канцерогенные химические вещества, способствующие увеличению числа больных с ЗНО [1–5].

Оценка канцерогенного риска при многосредовом и многомаршрутном воздействии позволит более точно определить суммарную канцерогенную нагрузку среды обитания на городских жителей и установить приоритетные среды, маршруты воздействия и канцерогенные вещества, формирующие наиболее высокие риски.

³ Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году / под ред. А.Д. Каприна [и др.]. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2022. 239 с.

² По материалам информационных бюллетеней за 2017–2022 гг. «Злокачественные новообразования в России (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна [и др.]. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

Цель исследования — определить приоритетные среды и маршруты воздействия химических веществ при формировании многолетних канцерогенных рисков на территории Омска.

Задачи исследования. 1. Провести расчёты и оценку уровней многолетних канцерогенных рисков для здоровья населения Омска при воздействии химических веществ, поступающих в организм человека различными путями из разных сред. 2. Рассчитать и оценить суммарные канцерогенные риски. 3. Установить приоритетные среды, маршруты воздействия и химические вещества, формирующие наибольшие канцерогенные риски. 4. Рассчитать и оценить канцерогенные риски приоритетной среды в разрезе локализаций злокачественных новообразований.

Материалы и методы

В исследовании были использованы сведения о концентрациях химических канцерогенных веществ в объектах среды обитания по результатам экологического и социально-гигиенического мониторингов за период 2017–2022 гг. Для оценки кумулятивного канцерогенного риска учитывали пять сред (атмосферный воздух, питьевая водопроводная вода, вода открытых водоёмов, почва и пищевые продукты) и три пути воздействия: ингаляционный, пероральный и кожный. Оценку канцерогенных рисков проводили в соответствии с Руководством⁴. Риски при воздействии атмосферного воздуха изучали по данным стационарных постов Росгидромета — девять канцерогенных веществ в средне-годовых концентрациях с осреднением по среднесуточным значениям. Для оценки рисков питьевой воды централизованных систем водоснабжения (далее — питьевая вода) было исследовано 13 канцерогенных веществ, почвы — 7, воды открытых водоёмов — 4, пищевых продуктов — 9. Осреднение многолетних концентраций проводили по разовым значениям проб, полученным в результате социально-гигиенического мониторинга. Общее количество исследуемых проб атмосферного воздуха составило 106 743, питьевой воды — 1858, воды открытых водоёмов — 48, почвы — 784, пищевых продуктов — 6763. Количество отобранных проб пищевых продуктов по основным группам было достаточным для оценки риска. В качестве приоритетных выбирали химические вещества, частота обнаружения которых в пробах различных сред превышала 5%.

Средние значения концентраций рассчитывали в зависимости от распределения значений в ряду (критерий хи-квадрата Пирсона (χ^2); использовались как средние значения концентраций (среднеарифметические и медианы), так и верхние пределы доверительных интервалов средних значений (95%) или 90-й перцентиль (P90), рассчитанные за период 2017–2022 гг.

Расчёты средних суточных доз химических веществ, поступающих в организм человека в течение всей жизни, проводили с использованием стандартных параметров в трёх возрастных группах: дети младшей группы (от рождения до шести лет), дети старшей группы (от шести до восемнадцати лет) и взрослые (18 лет и старше). В настоящем исследовании приведены значения рисков, рассчитанные на основе средневзвешенной пожизненной дозы, учитывающей все возрастные периоды жизни.

Для расчёта среднесуточных доз загрязняющих веществ (ЗВ) в течение всей жизни при употреблении пищевых продуктов учитывали годовые объёмы потребления пищевой продукции (по основным группам продуктов) на основании данных территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Омской области (Омскстат). Расчёты проводили с определением доли местных потенциально загрязнённых продуктов в суточном рационе (F).

Для поиска параметров физико-химических свойств загрязняющих веществ использовали информационную систему оценки рисков (RAIS — Risk Assessment Information System).

При расчёте канцерогенных рисков учитывали коэффициент тяжести ЗНО (g)⁴. Для поиска и уточнения органов-мишеней канцерогенных веществ с учётом различных маршрутов воздействия использовали сведения Международного агентства по изучению рака (МАИР) (IARC — International Agency for Research on Cancer)⁵; федеральной интегрированной базы данных с параметрами для оценки риска (IRIS U.S. EPA)⁶; Агентства по токсическим соединениям и регистрации болезней Министерства здравоохранения и соцобеспечения США (ATSDR)⁷; Федерального регистра потенциально опасных химических и биологических веществ⁸.

Результаты

При обычном сценарии кумулятивный канцерогенный риск по всем средам и маршрутам оценивался как настораживающий на основе средних значений концентраций загрязняющих веществ (табл. 1). Среда, формировавшая 63,3% канцерогенного риска, — питьевая вода, суммарный риск по которой с учётом всех путей поступления оценён как настораживающий. Доля атмосферного воздуха в кумулятивном риске составила 33,1%, пищевых продуктов — 3,3%. Остальные среды несли минимальные риски для населения: их общий удельный вес не превышал 0,5%.

Основной путь поступления химических канцерогенов — ингаляционный (77,4%), суммарный риск по этому маршруту воздействия оценивался как настораживающий. Вклад кожного пути составил 12,7%, перорального — 10%. Настораживающие канцерогенные риски формировались при ингаляционном пути поступления химических веществ из атмосферного воздуха и при испарении из питьевой воды при купании (умывании).

При аггравированном сценарии (на основе максимальных концентраций) кумулятивный канцерогенный риск по всем средам и маршрутам оценивался как высокий (табл. 2). Приоритетными средами в данном случае были питьевая вода (доля в кумулятивном риске составила 45,4%) и пищевые продукты (47,8%), а доля атмосферного воздуха оставалась невысокой (6,7%). В структуре путей поступления значительно усилились пероральный и кожный маршруты воздействия. Доля в кумулятивном риске ингаляционного маршрута составила 27,3%, перорального — 53,4%, кожного — 19,3%.

Анализ всех сред и путей поступления химических веществ при разных сценариях показал, что приоритетной средой формирования кумулятивного канцерогенного риска была питьевая вода при ингаляционном воздействии во время купания (умывания), второе место занимал атмосферный воздух, на третьем были пищевые продукты. Почва и вода открытых водоёмов при всех путях поступления и при всех сценариях не создавали канцерогенных рисков для жителей города с учётом существующей системы мониторинга.

В табл. 3 представлен подробный анализ рисков для здоровья при поступлении 13 химических канцерогенных веществ из питьевой воды по разным маршрутам воздействия. Структура суммарного канцерогенного риска при употреблении питьевой воды по маршрутам поступления в организм человека была представлена в основном ингаляционным воздействием (69,9%), в меньшей степени — кожным (19,8%) и пероральным (10,3%). Настораживающий уровень канцерогенного риска при ингаляционном поступлении химических веществ из питьевой воды формировался за счёт хлороформа. При аггравированном сценарии структура

⁴ Р 2.1.10.3968–23 Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания.

⁵ www.iarc.fr

⁶ www.epa.gov/iris

⁷ www.atsdr.cdc.gov

⁸ www.rpohv.ru

Таблица 1 / Table 1

Средние многолетние суммарные канцерогенные риски для здоровья населения Омска при многосредовой и многомаршрутной экспозиции химических веществ за период 2017–2022 гг. на основе средних значений концентраций химических соединений
Average long-term total carcinogenic risks to the health of the population of Omsk with multi-environment and multi-route exposure to chemicals for the period 2017–2022 based on the average concentrations of chemicals

Среда Environment	Путь поступления / Entry route			Суммарный канцерогенный риск (CR) по средам Total carcinogenic risk (CR) by media
	ингаляционный inhalation	пероральный orally	накожный cutaneous	
Значение риска / Risk value				
Атмосферный воздух / Atmospheric air	1.01E–04	–	–	1.01E–04
Почва / The soil	1.02E–07	5.31E–07	3.78E–07	1.01E–06
Питьевая вода / Drinking water	1.35E–04	1.98E–05	3.86E–05	1.93E–04
Вода открытых водоёмов / Water from open reservoirs	5.60E–12	2.04E–11	8.26E–12	3.42E–11
Пищевые продукты / Food products	–	1.02E–05	–	1.02E–05
Суммарный канцерогенный риск (CR _p) по путям поступления Total carcinogenic risk (CR _p) by entry route	2.36E–04	3.05E–05	3.90E–05	3.05E–04

Таблица 2 / Table 2

Средние многолетние суммарные канцерогенные риски для здоровья населения Омска при многосредовой и многомаршрутной экспозиции химических веществ за период 2017–2022 гг. на основе максимальных значений концентраций химических соединений
Average long-term total carcinogenic risks to the health of the population of Omsk during multi-environment and multi-route exposure to chemicals, for the period 2017–2022 based on maximum concentration values

Среда Environment	Путь поступления / Entry route			Суммарный канцерогенный риск (CR) по средам Total carcinogenic risk (CR) by media
	ингаляционный inhalation	пероральный orally	накожный cutaneous	
Значение риска / Risk value				
Атмосферный воздух / Atmospheric air	1.28E–04	–	–	1.28E–04
Почва / The soil	1.20E–07	6.17E–07	4.28E–07	1.16E–06
Питьевая вода / Drinking water	3.94E–04	1.06E–04	3.67E–04	8.67E–04
Вода открытых водоёмов / Water from open reservoirs	8.13E–12	8.61E–08	9.61E–09	9.57E–08
Пищевые продукты / Food products	–	9.14E–04	–	9.14E–04
Суммарный канцерогенный риск (CR _p) по путям поступления Total carcinogenic risk (CR _p) by entry route	5.22E–04	1.02E–03	3.67E–04	1.91E–03

вкладов была дополнена 1,2-дихлорэтаном и гексахлорбензолом – хлорсодержащими соединениями, применяемыми в сельском хозяйстве и промышленности. При пероральном поступлении ЗВ из питьевой воды канцерогенные риски для каждого вещества оценивались как допустимые при всех сценариях. При накожном маршруте канцерогенные риски оценивались как допустимые только при обычном сценарии; при усиленном сценарии (на основе максимальных концентраций) формировались настоящие риски при воздействии мышьяка и гексахлорбензола.

Средние многолетние значения концентраций галогенсодержащих соединений (ГСС) и их верхние пределы не превышали гигиенических нормативов для питьевой воды, в то же время за анализируемый шестилетний период регистрировались превышения предельно допустимых концентраций dibromochloromethane (8,7% проб), chloroform (0,9%), bromodichloromethane (0,9%). Превышения гигиенических нормативов содержания других химических веществ не регистрировались.

Анализ канцерогенных рисков при многомаршрутном воздействии химических веществ, поступающих в организм человека с питьевой водой, в разрезе локализаций ЗНО представлен в табл. 4 и 5. Среди всех локализаций злокачественных опухолей наибольший риск приходился на ЗНО желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и составлял 88,1% от

всех локализаций, оценивался как настоящие при ингаляционном пути поступления. На риск развития рака мочевыводящих путей (почки) приходилось 11,9%, риск оценивался как допустимый. При аггривированном сценарии появлялись риски возникновения рака кожи и гемангиосаркомы.

Канцерогенные риски при поступлении химических веществ с атмосферным воздухом оценивались как допустимые и при обычном, и при усиленном сценарии. Наибольшие вклады в многолетний канцерогенный риск от загрязнения атмосферного воздуха обеспечивали хром (VI) (59,4%), формальдегид (22,2%), бензол (7,2%) и углерод (сажа) (7,1%).

Суммарный канцерогенный риск при поступлении химических веществ из пищевых продуктов формируется в основном за счёт мышьяка. При использовании средних значений концентраций ЗВ структура вкладов имела следующий вид: мышьяк (86,7%), свинец (12,3%), кадмий (0,9%); при максимальных концентрациях – мышьяк (91%), кадмий (6,1%), полихлорированные бифенилы (1,8%), свинец (1,1%), бенз(а)пирен (0,05%).

Пылевые эмиссии и испарения из почвы, как и испарения при купании в открытых водоёмах, не несут рисков развития канцерогенных эффектов для здоровья населения города и оцениваются как минимальные при любых сценариях.

Таблица 3 / Table 3
Средние многолетние канцерогенные риски для здоровья населения Омска при многомаршрутной экспозиции химических веществ, поступающих в организм человека с питьевой водой (2017–2022 гг.)
 Average long-term carcinogenic risks to the health of the population of Omsk due to multi-route exposure to chemicals entering the human body with drinking water (2017–2022)

Химическое вещество Chemical contaminating	CAS*	Путь поступления химических веществ из питьевой воды Routes of entry of chemicals from drinking water						Суммарный канцерогенный риск (CR _c) по путям поступления Total carcinogenic risk (CR _c) by entry route			
		пероральный orally		ингаляционный inhalation		кожный cutaneous		P90	P50	P90	
		P50	P90	P50	P90	P50	P90				
Индивидуальный канцерогенный риск / Individual carcinogenic risk											
Кадмий Cadmium	7440-43-9	0.00E+00	0.00E-00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Свинец Lead	7439-92-1	0.00E+00	0.00E-00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Хром VI Chrome VI	18540-29-9	1.02E-05	2.42E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.92E-05	4.55E-05	2.94E-05	6.98E-05	0.00E+00
Мышьяк Arsenic	7440-38-2	0.00E+00	6.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-04	0.00E+00	1.73E-04	0.00E+00
Хлороформ Chloroform	67-66-3	0.00E+00	0.00E-00	1.35E-04	1.49E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.35E-04	1.49E-04	0.00E+00
Тетрахлорметан Carbon tetrachloride	56-23-5	0.00E+00	1.00E-07	0.00E+00	1.52E-06	0.00E+00	0.00E+00	7.90E-08	0.00E+00	1.71E-06	0.00E+00
Бромформ Bromoform	75-25-2	0.00E+00	1.26E-06	0.00E+00	2.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.50E-06	0.00E+00	2.96E-05	0.00E+00
Дибромхлорметан Dibromochloromethane	124-48-1	1.68E-06	1.98E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.83E-06	4.52E-06	5.51E-06	6.51E-06	0.00E+00
Бромдихлорметан Bromodichloromethane	75-27-4	9.08E-06	8.97E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.55E-05	1.76E-05	2.45E-05	2.66E-05	0.00E+00
Тетрахлорэтилен Tetrachlorethylene	127-18-4	0.00E+00	1.62E-09	0.00E+00	5.60E-08	0.00E+00	0.00E+00	1.75E-08	0.00E+00	7.51E-08	0.00E+00
Гексахлорбензол Hexachlorobenzene	118-74-1	0.00E+00	1.23E-06	0.00E+00	3.36E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.83E-04	0.00E+00	2.18E-04	0.00E+00
1,2-дихлорэтан 1,2-dichloroethane	107-06-2	0.00E+00	3.50E-06	0.00E+00	1.71E-04	0.00E+00	0.00E+00	4.62E-06	0.00E+00	1.79E-04	0.00E+00
Трихлорэтилен Trichlorethylene	79-01-6	0.00E+00	0.00E-00	0.00E+00	9.75E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.76E-06	0.00E+00
Суммарный канцерогенный риск (CR _c) по всем веществам Total carcinogenic risk (CR _c) for all substances	—	1.98E-05	1.06E-04	1.35E-04	3.94E-04	3.86E-05	3.67E-04	1.93E-04	8.67E-04	8.67E-04	0.00E+00

Примечание. Здесь и в табл. 4: * CAS registry number — уникальный численный идентификатор химических соединений, полимеров, биологических последовательностей нуклеотидов или аминокислот, смесей и сплавов, внесенных в реестр Chemical Abstracts Service.

Note: Here and in Table 4*: CAS registry number is a unique numerical identifier of chemical compounds, polymers, biological sequences of nucleotides or amino acids, mixtures and alloys listed in the Chemical Abstracts Service registry.

Таблица 4 / Table 4

Направленность канцерогенного действия химических веществ, поступающих в организм с питьевой водой**The trend of the carcinogenic effect of chemicals entering the body with drinking water**

Химическое вещество Chemical substance	CAS	Направленность канцерогенного действия (www.epa.gov/iris) Trend of carcinogenic action (www.epa.gov/iris)	
		перорально orally	ингаляционно inhalation
Кадмий Cadmium	7440-43-9	Нет данных No data	Органы дыхания (лёгкие, трахея, бронхи) Respiratory organs (lungs, trachea, bronchi)
Свинец Lead	7439-92-1	Нет данных No data	Нет данных No data
Хром VI Chromium VI	18540-29-9	ЖКТ (плоскоклеточная карцинома или плоскоклеточная папиллома) Gastrointestinal tract (squamous cell carcinoma or squamous cell papilloma)	Органы дыхания (лёгкие) Respiratory organs (lungs)
Мышьяк Arsenic	7440-38-2	Кожа Skin	Органы дыхания (лёгкие) Respiratory organs (lungs)
Хлороформ Chloroform	67-66-3	Нет данных No data	ЖКТ (гепатоцеллюлярная карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular carcinoma)
Тетрахлорметан Carbon tetrachloride	56-23-5	ЖКТ (гепатоцеллюлярная аденома или карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular adenoma or carcinoma)	Эндокринная система (феохромочитома) Endocrine system (pheochromocytoma)
Бромформ Bromoform	75-25-2	ЖКТ (толстый кишечник) Gastrointestinal tract (large intestine)	ЖКТ (толстый кишечник) Gastrointestinal tract (large intestine)
Дибромхлорметан Dibromochloromethane	124-48-1	ЖКТ (гепатоцеллюлярная аденома или карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular adenoma or carcinoma)	Нет данных No data
Бромдихлорметан Bromodichloromethane	75-27-4	Новообразования мочевых путей (почки) Neoplasms of the urinary tract (kidneys)	Нет данных No data
Тетрахлорэтилен Tetrachlorethylene	127-18-4	ЖКТ (гепатоцеллюлярная аденома или карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular adenoma or carcinoma)	ЖКТ (гепатоцеллюлярная аденома или карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular adenoma or carcinoma)
Гексахлорбензол Hexachlorobenzene	118-74-1	ЖКТ (гепатоцеллюлярная аденома или карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular adenoma or carcinoma)	ЖКТ (гепатоцеллюлярная аденома или карцинома) Gastrointestinal tract (hepatocellular adenoma or carcinoma)
1,2-дихлорэтан 1,2-dichloroethane	107-06-2	Гемангиосаркома Hemangiosarcoma	Гемангиосаркома Hemangiosarcoma
Трихлорэтилен Trichlorethylene	79-01-6	Нет данных No data	Система крови, новообразования мочевых путей, желудочно-кишечный тракт (почки, печень, неходжкинская лимфома) Blood system, neoplasms of the urinary tract, gastrointestinal tract (kidneys, liver, Non-Hodgkin's lymphoma)

Таблица 5 / Table 5

Средние многолетние канцерогенные риски для здоровья населения Омска по локализациям (органам-мишеням) при многомаршрутной экспозиции химических веществ, поступающих в организм человека с питьевой водой (2017–2022 гг.), на основе средних концентраций химических веществ**Average long-term carcinogenic risks to the health of the population of Omsk by location (target organs) with multi-route exposure to chemicals entering the human body with drinking water (2017–2022), based on the average concentrations of chemicals**

Локализация опухоли (органы/системы-мишени) Tumor location (target organs/systems)	Путь поступления ЗВ из питьевой воды / Route of pollutants from drinking water			Суммарный канцерогенный риск с учётом многомаршрутного поступления* Total carcinogenic risk taking into account multi-route entry*
	пероральный orally	ингаляционный inhalation	накожный cutaneous	
ЗНО желудочно-кишечного тракта Cancer of the gastrointestinal tract	1.19E-05	1.35E-04	2.31E-05	1.70E-04
ЗНО мочевыводящих путей Cancer of the urinary tract	7.91E-06	0.00E+00	1.55E-05	2.34E-05

Примечание. * – в таблицу внесены локализации опухоли, для которых значения риска больше нуля. ЗВ – загрязняющие вещества.
Note: * – in the table there are amended tumor locations for which the risk values exceed zero.

Обсуждение

Кумулятивный канцерогенный риск для здоровья населения с учётом различных сценариев воздействия обычно не учитывается при планировании мониторинговых исследований и санитарно-гигиенических мероприятий, так как в лучшем случае исследуется ограниченное количество путей поступления ЗВ, что не даёт полного представления о канцерогенной нагрузке на население. Неприемлемые уровни суммарных канцерогенных рисков, формирующиеся при много-средовой и многомаршрутной экспозиции (атмосферный воздух, питьевая и рекреационная вода, пищевые продукты), установлены для многих промышленных городов [6–10].

Оценка рисков с максимальным охватом всех объектов среды позволяет получить целостное представление о направлении суммирующихся воздействий вредных химических факторов. При этом именно возможность расстановки приоритетов помогает выделить узкий спектр потенциальных рисков, на которых необходимо фокусироваться в случае принятия решений [11, 12].

Исследование показало, что оценка рисков питьевой воды, учитывающая только пероральный маршрут воздействия, на практике является недостаточной. Как минимум необходимо учитывать ингаляционный путь поступления летучих химических веществ, особенно при образовании в воде ГСС. Незначительное превышение гигиенических нормативов содержания ГСС в питьевой воде снижает насторожённость в отношении потенциальных рисков канцерогенных эффектов, возникающих при ингаляционном воздействии данных веществ.

Образование ГСС происходит как в процессе обеззараживания, так и в процессе транспортирования воды при наличии свежего органического загрязнения. Особенно это характерно для централизованных систем водоснабжения, использующих в качестве источников поверхностные водоёмы. Для Омска источником питьевой воды служит река Иртыш. Физико-химические свойства ГСС, высокие показатели эффективности массопереноса канцерогенного вещества из воды в воздух (Theta) создавали в воздушной среде при испарении из питьевой воды концентрации, способствующие формированию повышенных рисков (например, для хлороформа концентрация в воздухе составляла 1,6 мг/м³).

Другие исследователи также указывают на ведущую роль ингаляционного пути поступления из питьевой воды ГСС, в том числе хлороформа [6]. Канцерогенный эффект от употребления питьевой воды формируется в основном ингаляционно во время принятия ванны или душа, особенно при повышении температуры воды и её перемешивании. По данным Додиной Н.С. и Судаковой Е.В., вклад ингаляционного пути поступления ЗВ с питьевой водой в суммарный канцерогенный риск (CR) населения Москвы составил 82,2% [13].

В нашем исследовании проанализированы не все объекты среды обитания, что может снижать объективность выводов, в частности отсутствуют данные о загрязнении канцерогенами воздуха жилых и общественных помещений, рабочих мест. Все эти среды, несомненно, имеют свой вклад в формирование рисков для здоровья при поступлении химических веществ в организм человека [14]. Другие исследователи указывают на недоучёт воздействующих сред и путей поступления [15].

Также при формировании мониторинговых систем отдельных сред не в полной мере учитывались химические вещества, способные загрязнять все объекты среды обитания. Например, мониторинг кадмия осуществлялся в пищевых продуктах и всех средах, за исключением почвы. К химическим канцерогенам, имеющим высокую степень межсредового перехода и рекомендованных⁴ при многосредовой оценке риска для здоровья, относят: бенз(а)пирен, кадмий и его неорганические соединения, мышьяк, свинец, полиароматические углеводороды, формальдегид, хром VI, ПХБ.

Заключение

Канцерогенный риск для здоровья населения Омска в результате многосредового и многомаршрутного воздействия химических веществ был оценён как настораживающий (при аггривированном сценарии – высокий), что подтверждено многими исследователями в отношении различных городов с развитой промышленностью. Приоритетными средами формирования кумулятивного канцерогенного риска были питьевая водопроводная вода при ингаляционном воздействии (хлороформ) и атмосферный воздух (хром, формальдегид).

Наибольший риск злокачественных новообразований для органов-мишеней при употреблении питьевой воды, который оценивался как настораживающий, формировался в отношении желудочно-кишечного тракта (печень, толстый кишечник) – 88,1%. На втором месте находился риск развития рака мочевыводящих путей (почки) – 11,9%.

Оценка многолетнего кумулятивного канцерогенного риска позволила расставить приоритеты не только в перечне химических загрязнителей, но и в отношении объектов среды, маршрутов воздействия канцерогенов, органов-мишеней канцерогенных эффектов. Полученная информация необходима для более точного планирования санитарно-гигиенических мероприятий, снижения рисков для здоровья населения, оптимизации комплексного мониторинга ЗВ во всех средах с учётом всех путей поступления в организм человека, совершенствования коммуникационных и организационных мероприятий на уровне оказания первичной медико-профилактической помощи. Сценарии оценки риска для здоровья на основе максимальных концентраций загрязняющих веществ позволяют увидеть скрытые риски и предотвратить их реализацию.

Литература

1. Марченко Б.И., Нестерова О.А., Тарасенко К.С. Злокачественные новообразования в промышленном городе: эпидемиология, современные тенденции и прогноз. *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНУСО*. 2023; 31(12): 17–26. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-12-17-26>
2. Карамова Л.М., Башарова Г.Р., Гайнуллина М.К., Власова Н.В. Здоровье детей в городе с крупным нефтехимическим комплексом. *Медицина труда и экология человека*. 2022; (1): 144–58. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2022-10110> <https://elibrary.ru/rnqums>
3. Халфиев И.Н., Пузырев В.Г., Музафарова М.Ш., Григорьева Л.В., Ситдикова И.Д., Шарапова О.В. и др. Влияние факторов техногенеза на формирование показателей заболеваемости городского населения. *Медицина и организация здравоохранения*. 2022; 1(7): 51–9. <https://doi.org/10.56871/6142.2022.22.10.006>
4. Ефимова Н.В., Рукавишников В.С., Мильникова И.В. Комплексный эпидемиологический анализ риска злокачественных новообразований: опыт применения. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1317–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1317-1322> <https://elibrary.ru/fnpvoh>
5. Dat N.D., Nguyen L.S.P., Vo T.D., Van Nguyen T., Do T.T.L., Tran A.T.K., et al. Pollution characteristics, associated risks, and possible sources of heavy metals in road dust collected from different areas of a metropolis in Vietnam. *Environ. Geochem. Health*. 2023; 45(11): 7889–907. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01696-4>
6. Судакова Е.В. Многосредовой канцерогенный риск здоровью населения города Москвы. *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНУСО*. 2015; 23(6): 13–6. <https://elibrary.ru/uchphtl>
7. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кудусова Л.Х., Кряжева Е.А., Зеленин Д.О. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением депонирующих сред тяжёлыми металлами. *Анализ риска здоровью*. 2022; (1): 17–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.02> <https://elibrary.ru/pssyqpm>
8. Курчанов В.И., Лим Т.Е., Воецкий И.А., Головин С.А. Актуальность оценки многосредового канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду. *Здоровье населения и среда обитания* – *ЗНУСО*. 2015; 23(7): 8–12. <https://elibrary.ru/uchpruv>
9. Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Воробьева Л.М., Горяев Д.В. и др. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многосредовом воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(2): 88–92. <https://elibrary.ru/tpjhjr>

Original article

10. 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. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-90-93> <https://elibrary.ru/vtgtkq>
11. Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Скворонская С.А. Особенности оценки многосредового риска здоровью населения. В кн.: *Здоровье и окружающая среда: сборник материалов международной научно-практической конференции. Том 1*. Минск: Республиканская научная медицинская библиотека; 2018: 41–3. <https://elibrary.ru/yutzxv>
12. Корнилов А.С., Привалова Л.И., Кузьмина Е.А., Ярушин С.В., Мажаева Т.В., Кочнева Н.И. и др. Управление многосредовым риском для здоровья населения промышленно развитых городов Свердловской области. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(2): 123–8. <https://elibrary.ru/tphjuz>
13. Додина Н.С., Судакова Е.В., Шашина Е.А. Риск здоровью населения города Москвы при комплексном воздействии химических веществ, контролируемых в питьевой воде в рамках социально-гигиенического мониторинга. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2016; 24(4): 4–7. <https://elibrary.ru/vspozv>
14. Niu Y., Zhou Y., Chen R., Yin P., Meng X., Wang W., et al. Long-term exposure to ozone and cardiovascular mortality in China: a nationwide cohort study. *Lancet Planet Health*. 2022; 6(6): e496–e503. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(22\)00093-6](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(22)00093-6)
15. Новиков С.М., Фокин М.В., Унгуряну Т.Н. Актуальные вопросы методологии и развития доказательной оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(8): 711–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716> <https://elibrary.ru/wkxhvv>

References

1. Marchenko B.I., Nesterova O.A., Tarasenko K.S. Malignant Neoplasms in the Industrial City: Epidemiology, Current Trends and Forecast. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2023; 31(12): 17–26. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-12-17-26> (in Russian)
2. Karamova L.M., Basharova G.R., Gainullina M.K., Vlasova N.V. Children's health in a city with a large petrochemical complex. *Meditcina truda i ekologiya cheloveka*. 2022; (1): 144–58. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2022-10110> <https://elibrary.ru/rmqums> (in Russian)
3. Khalifev I.N., Puzyrev V.G., Muzaffarova M.Sh., Grigoreva L.V., Sitdikova I.D., Sharapova O.V., et al. The influence of technogenesis factors on the formation of morbidity indicators of the urban population. *Meditcina i organizatsiya zdravookhraneniya*. 2022; 1(7): 51–9. <https://doi.org/10.56871/6142.2022.22.10.006> (in Russian)
4. Efimova N.V., Rukavishnikov V.S., Myl'nikova I.V. Comprehensive epidemiological analysis of the risk of malignant neoplasms: experience of the implementation. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1317–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1317-1322> <https://elibrary.ru/fnpvoh> (in Russian)
5. Dat N.D., Nguyen L.S.P., Vo T.D., Van Nguyen T., Do T.T.L., Tran A.T.K., et al. Pollution characteristics, associated risks, and possible sources of heavy metals in road dust collected from different areas of a metropolis in Vietnam. *Environ. Geochem. Health*. 2023; 45(11): 7889–907. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01696-4>
6. Sudakova E.V. Multimedia carcinogenic health risk for the population of Moscow. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2015; (6): 13–6. <https://elibrary.ru/uchptl> (in Russian)
7. Boev V.M., Zelenina L.V., Kudusova L.Kh., Kryazheva E.A., Zelenin D.O. Hygienic assessment of carcinogenic health risks associated with contamination of depositing media with heavy metals. *Analiz riska zdorov'yu*. 2022; (1): 17–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.02.eng> <https://elibrary.ru/amonix>
8. Kurchanov V.I., Lim T.E., Voetskii I.A., Golovin S.A. The relevance of assessment of multicompartiment carcinogenic risk to health from exposure to chemicals that pollute the environment. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2015; 23(7): 8–12. <https://elibrary.ru/uchpyv> (in Russian)
9. Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislicin 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 krai regions' environment. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(2): 88–92. <https://elibrary.ru/tphjrr> (in Russian)
10. 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 Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 90–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-90-93> <https://elibrary.ru/vtgtkq> (in Russian)
11. Shashina T.A., Dodina N.S., Kislicin V.A., Skvoronskaya S.A. Features of assessing multi-environment risk to population health. In: *Health and the Environment: Collection of Materials from the International Scientific and Practical Conference. Volume 1 [Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda: sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tom 1]*. Минск: Republican Scientific Medical Library; 2018: 41–3. <https://elibrary.ru/yutzxv> (in Russian)
12. Kornilkov A.S., Privalova L.I., Kuz'mina E.A., Yarushin S.V., Mazhaeva T.V., Kochneva N.I., et al. Management of the multiple environmental risk for the health of the population of industrialized cities of the Sverdlovsk region. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(2): 123–8. <https://elibrary.ru/tphjuz> (in Russian)
13. Dodina N.S., Sudakova E.V., Shashina E.A. Health risk for the population of Moscow in case of complex effect of chemicals controlled in drinking water within the social-hygienic monitoring. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2016; 24(4): 4–7. <https://elibrary.ru/vspozv> (in Russian)
14. Niu Y., Zhou Y., Chen R., Yin P., Meng X., Wang W., et al. Long-term exposure to ozone and cardiovascular mortality in China: a nationwide cohort study. *Lancet Planet Health*. 2022; 6(6): e496–e503. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(22\)00093-6](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(22)00093-6)
15. Novikov S.M., Fokin M.V., Unguryanu T.N. Actual problem of methodology and development of evidence-based health risk assessment associated with chemical exposure. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(8): 711–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716> <https://elibrary.ru/wkxhvv> (in Russian)

Сведения об авторах

Овчинникова Елена Львовна, канд. мед. наук, доцент каф. гигиены труда, профпатологии, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, 644099, Омск, Россия. E-mail: el-omsk@yandex.ru

Колчин Андрей Сергеевич, проректор по последипломному образованию, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, 644099, Омск, Россия. E-mail: kandsmed@yandex.ru

Крига Александр Сергеевич, канд. мед. наук, руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Омской области, 644001, Омск, Россия. E-mail: rpn@55.rosпотреbnadzor.ru

Новикова Юлия Александровна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., руководитель отд. социально-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотреbnadzora, 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: j.novikova@s-znc.ru

Information about the authors

Elena L. Orchinnikova, MD, PhD, Associate Professor, Omsk State Medical University, Omsk, 644099, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9970-7617> E-mail: el-omsk@yandex.ru

Andrey S. Kolchin, MD, PhD, Vice-Rector for Postgraduate Education, Omsk State Medical University, Omsk, 644099, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5149-1784> E-mail: kandsmed@yandex.ru

Alexander S. Kriga, MD, PhD, head of the Office of the Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Omsk Region office, Omsk, 644001, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2597-6662> E-mail: rpn@55.rosпотреbnadzor.ru

Yuliya A. Novikova, MD, PhD, senior researcher, head of the Department of Social and Hygienic Analysis and Monitoring, North-West Public Health Research Center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4752-2036> E-mail: j.novikova@s-znc.ru