

Ефимова Н.В.¹, Ханхареев С.С.², Моторов В.Р.¹, Мадеева Е.В.²

ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА УЛАН-УДЭ

¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск;

²Управление Роспотребнадзора по Республике Бурятия, 670013, Улан-Удэ

Введение. Высокая медико-социальная значимость онкологической патологии определяет важность изучения условий её формирования. Цель исследования – оценить кумулятивный канцерогенный риск для населения административного центра Республики Бурятия – города Улан-Удэ.

Материал и методы. Идентификация канцерогенной опасности, обусловленной поступлением химических примесей в атмосферный воздух, проведена по данным форм № 2-ТП (воздух) за 2005–2015 годы. Оценка экспозиции дана в целом для населения города по многолетним среднегодовым концентрациям канцерогенов в атмосферном воздухе, питьевой воде, продуктах питания. Рассчитаны индексы сравнительной канцерогенной опасности (HCR) и индивидуального канцерогенного риска (ICR).

Результаты. Среди предприятий наиболее опасных как источников выбросов веществ, обладающих канцерогенным эффектом, выделяются: комбинат по благоустройству, нефтебаза, предприятия теплоэнергетики, тяжёлого машиностроения. ЗАО «Улан-Удэстальмост», АО «Улан-Удэнский авиационный завод» являются источниками поступления в среду обитания нескольких веществ, обладающих канцерогенным действием (формальдегид, хром (VI), никель, кадмий, эпихлоргидрин и др.). Кумулятивный канцерогенный индивидуальный риск в течение всей жизни для населения г. Улан-Удэ находится в пределах больше, чем 1Е-04, но менее 1Е-03 и, следовательно, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом.

Обсуждение. Основным путём поступления химических канцерогенов в организм населения Улан-Удэ является ингаляционный (79%). Наибольший вклад в суммарный индивидуальный канцерогенный риск при поступлении из атмосферного воздуха вносили формальдегид, хром (VI) и бенз(а)пирен. Приоритетными канцерогенами, поступающими с питьевой водой и продуктами питания, являются мышьяк, кадмий, свинец.

Выводы. Результаты оценки индивидуального канцерогенного риска в г. Улан-Удэ свидетельствуют о недопустимом уровне воздействия на население. Следует отметить, что проведённая оценка имеет ряд неопределённостей, что определяет необходимость дальнейшего совершенствования системы мониторинга канцерогенной опасности.

Ключевые слова: канцерогенный риск; ингаляционный и пероральный пути поступления; источники загрязнения.

Для цитирования: 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): 90-93.

Для корреспонденции: Моторов Владимир Радимович, аспирант ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований». E-mail: motorov.vova@gmail.com

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 23.01.2018

Принята к печати 18.10.2018

Efimova N.V.¹, Khankharev S.S.², Motorov V.R.¹, Madeeva E.V.²

ASSESSMENT OF THE CARCINOGENIC RISK FOR THE POPULATION OF ULAN-UDE

¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation;

²The Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare for the Republic of Buryatia, Ulan-Ude, 670013, Russian Federation

Introduction. Oncological pathology has a high medical and social significance, so it is important to study the conditions of its formation. The aim of the study was to evaluate the cumulative carcinogenic risk for the population of the administrative center of the Republic of Buryatia (Ulan-Ude).

Material and methods. The identification of the carcinogenic hazard caused by the entry of chemical ingredients into the ambient air was carried out in 2005-2015. The exposure assessment is based on long-term average annual concentrations of carcinogens in the air, drinking water, food. Indices of comparative carcinogenic hazard (HCR) and individual carcinogenic risk (ICR) are calculated.

Results. The huge engineering enterprises are sources of several substances with carcinogenic effects (formaldehyde, chrome VI, cadmium, nickel, epichlorohydrin, etc.). The individual carcinogenic risk for residents of Ulan-Ude is included in the range unacceptable for the general population. The main pathway for chemical agents to enter the body is inhalation (79%). The greatest contribution to the total individual carcinogenic risk on admission from the air was made by formaldehyde, chromium VI and Benz(a)pyrene. Priority carcinogens coming from drinking water and food are arsenic, cadmium, lead.

Conclusion. Results of the assessment of individual carcinogenic risk in Ulan-Ude indicate an unacceptable level of the impact on the population. The assessment has a number of uncertainties, which determines the need to further improve the monitoring system for carcinogenic hazards.

Key words: cumulative carcinogenic risk; inhalation and oral routes; sources of pollution.

For citation: Efimova N.V., Khankharev 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): 90-93. (In Russ.).

For correspondence: Vladimir R. Motorov, MD, post-graduate student of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research. E-mail: motorov.vova@gmail.com

Information about authors: Efimova N.V. <http://orcid.org/0000-0001-7218-2147>; Madeeva E.V. <http://orcid.org/0000-0003-4837-301X>

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

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Received: 23 January 2018

Accepted: 18 October 2018

Введение

Риск развития большинства злокачественных новообразований (ЗНО) зависит от комплексного влияния различных факторов. При этом канцерогенная экспозиция, некоторые особенности образа жизни (в первую очередь, курение, злоупотребление алкоголем и пр.) зачастую потенцируют неблагоприятное действие, приводя к увеличению вероятности развития онкопатологии [1–3]. Уровень заболеваемости ЗНО в Республике Бурятия находится на относительно невысоком уровне, однако в период с 1987 по 2011 г. выявлен высокий рост ЗНО среди населения, что связывается с неблагоприятной экологической средой [4]. Анализ многолетних данных Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (БЦГМС) свидетельствует, что в г. Улан-Удэ в течение многих лет наблюдается неблагоприятная ситуация по загрязнению атмосферного воздуха [5, 6]. В соответствии с новой парадигмой науки о рисках одним из важных результирующих аспектов является разработка стратегий управления рисками здоровья населения, основанная на фактических данных [6]. Среди ведущих направлений практического использования оценки риска при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, особое значение имеет ранжирование территорий по уровням загрязнения и опасности для здоровья населения с целью регулирования источников и факторов риска, представляющих наибольшую угрозу здоровью населения [1, 7, 8]. Однако работ по оценке много-средового канцерогенного риска для населения г. Улан-Удэ нет, что определило цель исследований – дать оценку агрегированного канцерогенного риска для населения г. Улан-Удэ, связанного с воздействием химических веществ.

Материал и методы

Город Улан-Удэ является административным и промышленным центром Республики Бурятия с численностью населения 437,6 тыс. человек, где сосредоточены промышленные предприятия, являющиеся источниками выбросов различных канцерогенов. Идентификация канцерогенной опасности, обусловленной поступлением химических примесей в атмосферный воздух, проведена по данным форм № 2-ТП (воздух) за 2005–2015 годы. Оценка экспозиции дана в целом для населения города (по данным наблюдения БЦГМС и социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора). Использованы среднегодовые данные за 2002–2015 годы. Расчеты индекса сравнительной канцерогенной опасности (HCR) и индивидуального канцерогенного риска (ICR) проведены в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [9]. Исходя из проведенной ранее оценки структуры питания городских жителей Республики Бурятия и среднего содержания канцерогенных элементов в основных видах продуктов питания [10, 11], поступающих к населению региона, рассчитаны канцерогенные риски, связанные с пероральным путем поступления. Концентрации канцерогенов в пробах атмосферного воздуха, питьевой воды представлены в виде средних арифметических величин и ошибок среднего, в продуктах питания – медианы. Статистическая обработка данных проведена с помощью лицензионных пакетов Excel, Statistica.10.

Результаты

От стационарных источников в атмосферный воздух г. Улан-Удэ поступает около 30 тыс. т химических примесей. Для идентификации канцерогенной опасности выбраны 15 веществ, обладающих канцерогенным эффектом. Среди всех химических канцерогенов, поступающих в атмосферный воздух города, наибольшее значение имеет сажа, выбросы которой составили в среднем за изучаемый период 822,41 т, что в десятки и сотни раз выше, чем других веществ. Выявлено, что максимальная величина вклада в HCR связана с содержанием в валовых выбросах сажи (88,1%), что значительно выше, чем доля бензина нефтяного (5,5%) и хрома VI (5,6%).

Среди предприятий – источников выбросов веществ, являющихся наиболее опасными, обладающих канцерогенным эффектом, выделяются предприятия теплоэнергетики. В HCR каждой из ТЭЦ на 14% выше, чем у имеющего третий ранг ЗАО

Таблица 1

Характеристика ингаляционного канцерогенного риска для населения г. Улан-Удэ

| Загрязняющее вещество | Средние концентрации \pm ошибка средней, мкг/м ³ | ICR _i | % вклада |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|----------|
| Формальдегид | 7,5 \pm 0,08 | 9,8E–05 | 32,88 |
| Бенз(а)пирен | 0,0045 \pm 0,0011 | 4,3 E–06 | 1,43 |
| Свинец | 0,015 \pm 0,008 | 1,9E–07 | 0,06 |
| Никель | 0,0005 \pm 0,0001 | 7,0E–08 | 0,02 |
| Хром (VI) | 0,015 \pm 0,001 | 1,8E–04 | 64,60 |
| Кадмий | 0,005 \pm 0,0001 | 2,7E–06 | 0,9 |
| Всего... | | 3,0 E–04 | 100 |

«Стальмост» и на 65%, чем у ОАО «Улан-Удэнский авиазавод». Основной вклад в HCR ТЭЦ вносит сажа (99,9%). Выбросы ЗАО «Стальмост» и ОАО «Улан-Удэнский авиазавод» характеризуются расширенными спектрами канцерогенов, поступающими в атмосферный воздух города. Авиацонный завод выбрасывает в атмосферу 14 канцерогенных веществ: хром (VI), серная кислота, никель и его соединения, формальдегид, эпихлоргидрин, бенз(а)пирен, бензол, сажа, кадмий и его соединения, масло минеральное, акрилонитрил, 1,3-бутадиен, пропилен оксид, этилена оксид. По данным контроля производственной лаборатории, концентрации указанных веществ на границе санитарно-защитной зоны не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК). Однако государственный мониторинг БЦГМС свидетельствует, что среднегодовые концентрации превышали гигиенические нормативы по формальдегиду в 1,5–2,9 раза, бенз(а)пирену в 2,6–7,7 раза. В течение нескольких лет индексы загрязнения атмосферного воздуха г. Улан-Удэ оценивались как очень высокие, в связи с чем город включался в приоритетные списки городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения воздушного бассейна.

Оценка канцерогенного риска для жителей Улан-Удэ при ингаляционном пути поступления представлена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что основной вклад в суммарный канцерогенный риск вносит хром (VI) (64,6%, ICR_i составил 1,8E–04). Второй ранг значимости имеет формальдегид (ICR_i = 9,8E–05), вклад которого в суммарный канцерогенный риск составил 32,88%. Доля бенз(а)пирена относительно невелика – 1,43% (ICR_i = 4,3E–06). Вклад кадмия, свинца и никеля не превышает 1%, а их величины ICR_i соответствуют целевому уровню (риск развития меньше одного случая на 1 млн экспонированного населения). Суммарный ингаляционный канцерогенный риск составил 3,0E–04, что соответствует третьему диапазону и приемлемо только для профессиональных групп, но неприемлемо для населения в целом.

Другим важным путем поступления химических веществ в организм является пероральный, связанный с потреблением питьевой воды и продуктов питания. Оценка перорального пути поступления проведена для всего населения в целом, так как около 70% населения города получает воду из единой системы централизованного водоснабжения. Индивидуальный канцерогенный риск, связанный с потреблением питьевой воды в течение всей жизни, входит во второй диапазон, который приемлем для профессиональных групп и населения в целом (ICR_w = 1,0E–05). Вклад в суммарный риск свинца, мышьяка и кадмия, поступающих пероральным путем с питьевой водой, составил 26,8–38,7% (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика перорального канцерогенного риска для населения г. Улан-Удэ, связанного с потреблением питьевой воды

| Канцероген | Средняя концентрация, мг/дм ³ | ICR _w | % вклада |
|------------|------------------------------------------|------------------|----------|
| Свинец | 0,0026 \pm 0,0002 | 3,4E–06 | 33,7 |
| Бериллий | 0,0000006 \pm 0,000000003 | 7,7E–08 | 0,8 |
| Кадмий | 0,00036 \pm 0,0000001 | 3,9E–06 | 38,7 |
| Мышьяк | 0,00026 \pm 0,00002 | 2,7E–06 | 26,8 |
| Всего... | | 1,0E–05 | 100 |

Характеристика перорального канцерогенного риска для населения г. Улан-Удэ, связанного с потреблением продуктов питания

| Транспортирующий продукт | Канцероген, медиана, мг/кг | | | ICR _F | | | ICR _F суммарный |
|--------------------------|----------------------------|---------|--------|------------------|---------|---------|----------------------------|
| | Кадмий | Мышьяк | Свинец | Кадмий | Мышьяк | Свинец | |
| Мясо | 0,003 | 0,0009 | 0,049 | 4E-06 | 3,6E-06 | 7,2E-06 | 1,5E-06 |
| Яйца | 0,0014 | 0,0012 | 0,02 | 2,7E-07 | 8E-07 | 3E-08 | 8E-07 |
| Молоко | 0,0009 | 0,00019 | 0,015 | 4E-06 | 2,6E-06 | 5E-07 | 7,1E-06 |
| Хлеб | 0,002 | 0,00035 | 0,072 | 8E-06 | 4,7E-06 | 1E-06 | 1,4E-05 |
| Рыба | 0,0066 | 0,0098 | 0,056 | 1E-06 | 3,6E-06 | 1E-07 | 4,7E-06 |
| Картофель | 0,045 | 0,00025 | 0,031 | 2,3E-05 | 4E-07 | 2,8E-06 | 2,6E-05 |
| Плодовоовощная продукция | 0,003 | 0,0003 | 0,068 | 8E-06 | 2,7E-06 | 1E-06 | 1,2E-05 |
| Всего... | | | | | | | 6,6E-05 |

Основным источником поступления химических веществ в организм является потребление продуктов питания. Канцерогенный риск, обусловленный пероральным поступлением кадмия, мышьяка и свинца, определяется регулярным включением в рацион картофеля (33% от суммарного ICR_F), мяса и мясopодуков (19%), хлеба, хлебобулочных и крупяных продуктов (18%), плодовоовощной продукции (15%). Наиболее опасным из изученных канцерогенов для населения Улан-Удэ может считаться кадмий, вклад которого в три раза выше, чем вклад мышьяка и свинца (60,4, 23,6 и 16,0% соответственно). Суммарный пероральный канцерогенный риск, обусловленный потреблением продуктов, находится во втором диапазоне (ICR_F = 6,5E-05), то есть соответствует целевому уровню, принятому в РФ и может считаться приемлемым для населения (табл. 3). Однако суммарный пероральный канцерогенный риск для жителей г. Улан-Удэ находится на грани допустимого для населения уровня (ICR_{перор} = 9,8E-05).

Учитывая, что негативный канцерогенный эффект химического воздействия независимо от пути поступления может суммироваться, ICR_F в течение всей жизни для населения г. Улан-Удэ находится в пределах больше, чем 1E-04, но менее 1E-03 и, следовательно, приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Вклад ингаляционного пути поступления в кумулятивный канцерогенный риск составил 79,8%, пероральный путь поступления представлен водой (вклад 2,7%) и продуктами питания (17,5%).

Обсуждение

Полученные нами результаты оценки канцерогенного риска для населения г. Улан-Удэ во многом корреспондируют с данными других исследователей. Так, при проведении работ в различных регионах РФ, в том числе в Сибирском и Уральском федеральных округах выявлено, что канцерогенные риски для населения находятся в большинстве случаев в третьем диапазоне. Ингаляционный канцерогенный риск для населения г. Челябинска преимущественно связан с загрязнением атмосферного воздуха формальдегидом, хромом, бенз(а)пиреном, бензолом [12], в Уфе обнаружены хром, бензин, формальдегид, бензол [13]. На связь экспозиции формальдегида с возникновением и развитием бластомогенных процессов указано в документах ВОЗ [14] и ЕРА [15], но в ряде работ [16–18] из-за методологических ограничений подобная зависимость не прослеживается, что требует, по мнению Mundt К. с соавт. [18], дальнейших исследований.

Пероральный путь поступления определяет уровень риска в зависимости от содержания мышьяка, свинца, бериллия, хлороформа и других веществ [19–21]. Отметим, что наиболее значимые для населения Улан-Удэ канцерогены экспертами Международного агентства по изучению рака (МАИР) также относятся к приоритетным токсикантам [22]. Наиболее опасным считается хром (VI) и его соединения. Независимый институт в рамках ВОЗ, занимающийся вопросами промышленной экологии и эко-токсикологии, оценивая эффекты избирательной токсичности хрома, убедительно показывает, что этот металл приводит к развитию рака лёгких, злокачественных новообразований в желу-

дочно-кишечном тракте [23, 24]. Длительное воздействие неорганического мышьяка, главным образом при питье загрязнённой воды, потреблении пищи, приготовленной с использованием такой воды, может приводить к раку кожи, мочевого пузыря и лёгких, что определяет значительный медико-социальный и экономический ущерб [19, 21]. МАИР классифицирует мышьяк и соединения мышьяка в качестве человеческих канцерогенов и также указывает, что мышьяк, содержащийся в питьевой воде, является человеческим канцерогеном [25]. В перечне наиболее опасных канцерогенов, особенно при поступлении с пищей, находятся также свинец и кадмий. Воздействие малых доз кадмия менее изучено, но именно с ним связывают генетические изменения в организме и возникновение злокачественных новообразований [26–29].

Следует отметить, что есть также некоторые ограничения для нашего исследования. Во-первых, мы не рассматривали влияние долгосрочного воздействия мелкодисперсных твёрдых частиц, бластомогенное действие которых показано в ряде исследований [30, 31], но на территории Улан-Удэ наблюдения за их содержанием в атмосферном воздухе не ведётся. Во-вторых, оценка проведена на уровне среднего значения концентраций. В-третьих, различия между величинами воздействия, рассчитанными по данным существующих систем мониторинга и истинными значениями экспозиции, являются источником неизбежной погрешности измерения, которая может смещать интерпретацию негативных последствий для здоровья от канцерогенных факторов. Кроме того, для некоторых химических веществ неоднозначны оценки канцерогенного эффекта, полученные *in vitro*, в экспериментах на животных и в эпидемиологических исследованиях.

Таким образом, результаты оценки ICR в г. Улан-Удэ свидетельствуют о недопустимом уровне воздействия на население. Следует отметить, что проведённая оценка имеет ряд неопределённостей, что определяет необходимость дальнейшего совершенствования системы СГМ в г. Улан-Удэ за загрязнением объектов окружающей среды, пищевого сырья и готовых продуктов питания. На наш взгляд, следует расширить программы мониторинга за содержанием канцерогенов в почве жилой зоны, пахотных угодий и садоводческих участков для получения данных, позволяющих предоставить корректную оценку канцерогенного риска, связанного с загрязнением почвенного покрова.

Выводы

1. Население города Улан-Удэ подвергается канцерогенному риску, уровень которого оценивается как приемлемый для профессиональных групп и неприемлемый для населения.
2. Ингаляционный путь поступления вносит 79,8% вклада в кумулятивный канцерогенный риск. Ведущими загрязняющими веществами, поступающими ингаляционным путём и представляющими канцерогенную опасность для населения, являются формальдегид, хром VI и бенз(а)пирен.
3. Пероральный путь поступления вносит 20,2% вклада, причём наиболее значимым является поступление канцерогенов с продуктами питания, что определяет необходимость расширения программы мониторинга за содержанием канцерогенов в объектах среды обитания, пищевом сырье и готовой продукции.

Литература

(пп. 1, 14–18, 20–24, 26–31 см. References)

- 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; 2: 88-92.
- Горяев Д.В., Тихонова И.В., Федорев Р.В., Новикова И.И., Ерофеев Ю.В. Факторы риска в развитии онкологической заболеваемости населения Красноярского края. *Вестник уральской медицинской академической науки*. 2015; 2: 29-31.
- Чимитдоржиева Т.Н. Заболеваемость злокачественными новообразованиями населения Республики Бурятия. *Российский онкологический журнал*. 2013; 2: 42-46.
- Болошинов А.Б., Макарова Л.В., Ханхарева С.С., Мадеева Е.В., Чудинова О.Н. Состояние проблемы и перспективы снижения риска здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха в Байкальском регионе. *Гигиена и санитария*. 2007; 5: 24-26.
- Ханхарева С.С., Багаева Е.Е., Мадеева Е.В., Ткачева М.В., Говорина Ю.В. Управление качеством атмосферного воздуха с использованием методологии оценки риска для здоровья населения (на примере г. Улан-Удэ Республики Бурятия). *Здоровье населения и среда обитания*. 2013; 5 (242):7-9.
- Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В., Андреева Е.Е. Кластерная систематизация параметров санитарно-эпидемиологического благополучия населения регионов российской федерации и городов федерального значения. *Анализ риска здоровью*. 2016; 1 (13): 4-14.
- Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора России; 2004.
- Тармаева И.Ю., Ефимова Н.В., Василовский А.М., Богданова О.Г. *Продовольственная безопасность и здоровье населения Восточной Сибири*. Новосибирск: Наука; 2014.
- Ефимова Н.В., Тармаева И.Ю., Богданова О.Г. Оценка контаминации пищевых продуктов в Республике Бурятия. *Гигиена и санитария*. 2015; 94 (3): 93-96.
- Агеева Н. В., Каткова М. Н., Иваницкая М. В. Оценка ингаляционного канцерогенного риска для населения загрязнённых районов Челябинской области. *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра)*. 2013; 22(1): 26-35.
- Чуенкова Г.А., Карелин А.О., Аскарв Р.А., Аскарова З.Ф. Оценка риска здоровью населения города Уфы, обусловленного атмосферными загрязнениями. *Гигиена и санитария*. 2015; 94 (3): 24-9.
- Клейн С.В., Вековшинина С.А., Сбоев А.С. Приоритетные факторы риска питьевой воды и связанный с этим экономический ущерб. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(1):10-4.
- Мышьяк. Инф. бюлл. ВОЗ. 2016. №372. (дата обращения 12.01.2018. <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs372/ru/>)
- R 2.1.10.1920-04 Human health risk assessment from environmental chemicals. М.: Federal'nyj centr Gossanepidnadzora Rossii; 2004. (in Russian)
- Tarmaeva I. Ju., Efimova N.V., Vasilovskij A.M., Bogdanova O.G. *Food security and health of the population of Eastern Siberia*. Novosibirsk: Nauka; 2014. (in Russian)
- Efimova N.V., Tarmaeva I. Ju., Bogdanova O.G. Evaluation of food contamination in the Republic of Buryatia. *Gigiena i sanitarija*. 2015; 94 (3): 93-96. (in Russian)
- Ageeva N. V., Katkova M. N., Ivanickaja M. V. Inhalation cancer risk assessment for the population of contaminated areas of the Chelyabinsk region. *Radiacijai risk (Bjulleten' Nacional'nogo radiacionno-epidemiologicheskogo registra)*. 2013; 22(1): 26-35. (in Russian)
- Chuenkova G.A., Karelin A.O., Askarov R.A., Askarova Z.F. Evaluation of the air pollution health risk for the population of the city of Ufa. *Gigiena i sanitarija*. 2015; 94 (3): 24-9. (in Russian)
- IARC. 2012. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 100. A review of human carcinogens. Part F: chemical agents and related occupations. Lyon: International Agency for Research on Cancer. (Available at 01.05.2018. <http://apps.who.int/bookorders/anglais/detart1.jsp?codlan=1&codcol=72&codcch=6100>).
- EPA. Toxicological review of formaldehyde – inhalation assessment. Washington (DC): US Environmental Protection Agency. (Available at 01.05.2018 https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=419)
- Gentry P.R., Rodricks J.V., Turnbull D., Bachand A., Van L.C., Shipp A.M. et al. Formaldehyde exposure and leukemia: critical review and reevaluation of the results from a study that is the focus for evidence of biological plausibility. *Crit Rev Toxicol*. 2013; 43:661–670.
- Lan Q., Smith M.T., Tang X., Guo W., Vermeulen R., Ji Z., Hubbard A.E. et al. Chromosome-wide aneuploidy study of cultured circulating myeloid progenitor cells from workers occupationally exposed to formaldehyde. *Carcinogenesis*. 2015; 36:160–167.
- Mundt K., Dell L., Crawford L., 4th Gallagher A.E. Quantitative estimated exposure to vinyl chloride and risk of angiosarcoma of the liver and hepatocellular cancer in the US industry-wide vinyl chloride cohort: mortality update through 2013. *Occup Environ Med*. 2017; doi:10.1136/oemed-2016-104051 (Available at 10.05.2018. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2051106203>)
- Klejn S.V., Vekovshinina S.A., Sboev A.S. Priority risk factors of drinking water and the related with it economical loss. *Gigiena i sanitarija*. 2016; 95(1):10-14. (in Russian)
- Thompson T., Fawell J., Kunikane S., Jackson, D., Appleyard S., Callan, P., Bartram J., Kingston P. Chemical safety of drinking-water: assessing priorities for risk management. Geneva: WHO, 2007. (Available at 08 01. 2018. <http://www.ircwash.org/sites/default/files/WHO-2007-Chemical.pdf>).
- Mantha M., Yeary E., Trent J., Creed P.A., Kubachka K., Hanley T. et al. Estimating inorganic arsenic exposure from U.S. rice and total water intakes. *Environ. Health Persp*. 2017; 125. doi:10.1289/EHP418. (Available at <https://doi.org/10.1289/EHP418>).
- IARC. International agency for research on cancer. Agents Classified by the IARC Monographs. 2015. (Available at 08 01. 2018. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification>).
- EWG Environmental Working Group. Chromium-6 in US tap water. 2010. (Available at 7.11.2015. <http://www.ewg.org/research/chromium6-in-tap-water>).
- Naz A., Mishra B.K., Gupta S.K. Human health risk assessment of chromium in drinking water: a case study of Sukinda chromite mine, Odisha, India. *Exposureand Health*. 2016; 8 (2):253–264.
- Arsenic. WHO. 372. 2016. (Available at 12.01.2018 <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs372/ru/>)
- Satarug S., Swaddiwudhipong W., Ruangyuttikarn W., Nishijo M., Ruiz P. Modeling cadmium exposures in low - and high-exposure areas in Thailand. *Environ Health Persp*. 2013; 121: 531–536.
- Akerstrom M., Barregard L., Lundh T., Sallsten G. The relationship between cadmium in kidney and cadmium in urine and blood in an environmentally exposed population. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2013; 268: 286–93.
- Arnich N., Sirov V., Riviere G., Jean J, Noël L., Guérin T., et al. Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French Total Diet Study. *Food Chem Toxicol*. 2012; 50:2432-2449.
- Itoh H, Iwasaki M, Sawada N, Takachi R, Kasuga Y, Yokoyama S, et al. Dietary cadmium intake and breast cancer risk in Japanese women: a case – control study. *Int. J. Hygiene Environ Health*. 2014. 217(1): 70-7 doi: 10.1016/j.ijheh.2013.03.010.
- Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*. 2002; 287: 1132–41.
- Raaschou-Nielsen O., Beelen R., Wang M., Hoek G., Andersen Z., Hoffmann B., et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *EnvironInt*. 2016; 87: 66–73.

References

- International Agency for Research on Cancer). 2013. IARC Scientific Publication No. 161. Air Pollution and Cancer. (Available at 21.03.2018. <https://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/AirPollutionandCancer161.pdf>).
- Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsyn V.A., Vorobiova 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 sanitarija*. 2015; 2: 88-92. (in Russian)
- Gorjaev D.V., Tihonova I.V., Fedoreev R.V., Novikova I.I., Erofeev Ju.V. Risks in the cancer expansion in population of the Krasnoyarsk territory. *Vestnik ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki*. 2015; 2: 29-31. (in Russian)
- Chimitdorzhieva T.N. Malignant neoplasms in the population of Buryatia Republic. *Rossijskij onkologicheskij zhurnal*. 2013; 2: 42-46. (in Russian)
- Boloshinov A.B., Makarova L.V., Hanhareev S.S., Madeeva E.V., Chudinova O.N. condition of the problem and the prospect of decrease in risk to health of the population from pollution of atmospheric air in the Baikal region. *Gigiena i sanitarija*. 2007; 5: 24-6. (in Russian)
- Khankhareev S.S., Bagayeva E.E., Madeeva E.V., Tkacheva M.V., Govorina Yu.V. The management of atmospheric air quality based on health risk assessment methodology (on the example of Ulan-Ude the Republics of Buryatia). *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya*. 2013; 5 (242):7-9. (in Russian)
- Krewski D., Westphal M., Andersen M. E., Paoli G.M., Chiu W.A., Al-Zoughool M. et al. A framework for the next generation of risk science. *Environ Health Persp*. 2014; 122 (8): 796-805. doi:10.1289/ehp.1307260.
- Onishhenko G.G., Zajceva N.V., Maj I.V., Andreeva E.E. Cluster systematization of the parameters of sanitary and epidemiological welfare of the population in the regions of the Russian Federation and the federal cities. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; 1(13): 4-14. (in Russian)