



Научная статья

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ****Ю.А. Рахманин<sup>1,2</sup>, Н.С. Додина<sup>2</sup>, А.В. Алексеева<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью, Российская Федерация, 119121, г. Москва, ул. Погодинская, 10, стр. 1<sup>2</sup>Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Российская Федерация, 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2

*Масштабное внедрение методологии анализа риска здоровью воздействия различных химических соединений, загрязняющих среду, определило и ряд новых актуализированных проблем для их приоритетного рассмотрения и решения.*

*Выделены основные этапы развития в Российской Федерации методологии анализа риска для здоровья, связанного с загрязнением среды обитания. Изданные отечественные руководства, посвященные вопросам анализа риска, а также ряд монографий описывают стратегическую роль анализа риска здоровью в решении задач по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия.*

*Проведен анализ современных путей совершенствования методологии оценки риска здоровью от воздействия химических веществ (ХВ), загрязняющих среду обитания. Обобщены основные подходы, рекомендуемые в зарубежных и отечественных исследованиях, применяемые для повышения качества проводимых исследований, снижения неопределенностей выполняемых расчетов, а также расширения способов количественной оценки риска здоровью. Оценен рост числа зарегистрированных в мире ХВ за последние 65 лет. Обобщена информация по компьютеризированным информационным системам и базам данных, содержащим сведения по параметрам оценки риска здоровью различных ХВ, включая мировые системы, позволяющие оценивать ущерб здоровью от воздействия ХВ (расчет дополнительного числа случаев неблагоприятного исхода воздействия ХВ и др.).*

*Обобщены различные причины, ведущие к недоучету риска здоровью населения, и описан ряд методических подходов, используемых в научных исследованиях, позволяющих минимизировать недооценку опасности здоровью и снизить неопределенности получаемых результатов.*

*Методология анализа риска здоровью от загрязнения среды обитания вредными химическими веществами является сложным системным процессом, предусматривающим, с одной стороны, максимально возможное расширение характеристики сложности химического загрязнения окружающей среды, а с другой – углубление представлений о возможном характере и последствиях негативного воздействия выявленных ХВ на организм человека и опосредованно на значимые социально-экономические показатели общественного развития.*

*Выявлены современные методические подходы, используемые в оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ, и способы снижения неопределенностей результатов исследований.*

**Ключевые слова:** химическая опасность, анализ риска, управление риском, оценка риска здоровью, оценка ущерба, приоритетные вещества, факторы неопределенности, химические вещества, гигиеническое нормирование.

К середине XX в. значительное расширение знаний о биологическом действии как природных, так и вновь синтезируемых химических веществ (ХВ) проявилось в осознании важности термина «химическая опасность» загрязнения окружающей среды и издании различных (по токсичности, канцерогенности, мутагенности, тератогенности и др.) справочных материалов.

При изучении влияния среды обитания на возможность развития неблагоприятных эффектов

у населения Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) обращает особое внимание на такие повсеместные приоритетные ХВ, как мышьяк, асбест, бензол, кадмий, ртуть, свинец, озон, азот, диоксид, диоксины, фториды, пестициды, взвешенные частицы (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), и на такие группы связанных с ними болезней, как онкологические, сердечно-сосудистые, респираторные и эндокринные, заболевания опорно-двигательного аппарата, крови,

© Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В., 2023

**Рахманин Юрий Анатольевич** – академик Российской академии наук, доктор медицинских наук, профессор, главный научный консультант (e-mail: 71info@sysin.ru; тел.: 8 (495) 540-61-71; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2067-8014>).

**Додина Наталья Сергеевна** – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела анализа риска здоровью населения (e-mail: skvnata@mail.ru; тел.: 8 (495) 586-11-44; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6693-922X>).

**Алексеева Анна Венидиктовна** – кандидат медицинских наук, начальник отдела гигиены (e-mail: AAlekseeva@cspmsz.ru; тел.: 8 (495) 540-61-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382>).

мочеполовой системы, психоневрологические нарушения и нарушения развития [1–3].

В самом всеобъемлющем справочнике Chemical Abstract Service Register<sup>1</sup> в США уже в начальный период с 1957 г. – года создания – и по 1965 г. количество вновь регистрируемых химических веществ, материалов, минералов, металлов, сплавов, смесей, полимеров, солей, реагентов, фармацевтических препаратов, приведенных в публикациях с начала XVIII в., достигло ежегодно более 300 тысяч наименований, в период 1976–1990 гг. – 670 тысяч в год, с 1991 по 2005 г. – 1 млн в год, с 2006 по 2015 г. – по 7,5 млн в год, а в последние годы – более 12 млн в год, превысив в 2023 г. общее количество более 204 млн зарегистрированных наименований. Указанное обстоятельство, с одной стороны, и цифровая революция в виде компьютеризационного распределения больших чисел данных – с другой, перевели понятие «химическая опасность» из интуитивно-информационной качественной характеристики во взвешенную комплексную количественную оценку последствий загрязнения окружающей среды химическими веществами на основе оценки риска его для здоровья человека [4].

Список из 150 тысяч химических веществ, в той или иной мере используемых в хозяйственной деятельности, ежегодно пополняется более чем тысячей соединений, из которых лишь около 15 % в возможно полной мере изучается в токсикологическом плане. Согласно материалам ВОЗ (2011), с воздействием ХВ, загрязняющих как окружающую, так и производственные среды, может быть связано в мировом масштабе до 4,9 млн случаев смерти (8,3 % от общего числа) и 89 млн лет жизни, утраченных в результате смертности и инвалидности. А по актуальным данным, «шесть миллионов человек в год умирает из-за воздуха плохого качества, при этом загрязнено более 90 % воздуха Земли»<sup>2</sup>. ВОЗ заявляет, что вклад загрязнения среды в показатели смертности населения в мире составляет: 38 % – атмосферный воздух, 44 % – воздух внутри помещений,

10 % – производственная среда, 8 % – вода и санитарные условия.

Методология количественной оценки риска здоровью при воздействии вредных химических веществ стала развиваться в Российской Федерации в конце 90-х гг. XX в., в результате чего появились первые отчеты по соответствующим научно-исследовательским работам и первые методические рекомендации по критериям оценки риска, расчету доз при оценке многосредового воздействия, оценка факторов канцерогенного потенциала, а также достоинств использования оценки риска здоровью при ведении социально-гигиенического мониторинга<sup>3</sup> [4, 5].

Первое монографическое издание, посвященное данной проблеме, появилось в России в 2002 г. [7], где в приложении к методической части были представлены рассчитанные референтные концентрации для кратковременных ингаляционных воздействий и референтные дозы для перорального поступления для 175 химических веществ, а также факторы канцерогенного потенциала для 329 соединений. Уже через два года на основе изложенной в монографии методологии и апробации ее в ряде практических исследований (Москва, Самара, Новокуйбышевск, п. Липяги и др.), а также референтных значений для дополненного ряда химических соединений было разработано и утверждено первое в РФ «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04, Москва, 2004 г.), в приложениях к которому были приведены референтные концентрации при ингаляционном остром (для 11 ХВ) и хроническом (для 541 ХВ) воздействии, а также референтные дозы при пероральном поступлении в организм 1531 ХВ<sup>4</sup>.

Широкая апробация методологии оценки и управления рисками здоровью от воздействия вредных химических веществ в последующие 10 лет послужила основой для создания монографии, описы-

<sup>1</sup> Chemical Abstract Service (CAS) Registry [Электронный ресурс] // CAS: official web-site. – URL: <https://www.cas.org/cas-data/cas-registry> (дата обращения: 19.07.2023).

<sup>2</sup> ВОЗ признала воздух Земли смертельно опасным [Электронный ресурс] // Mail.ru. Здоровье. – 2016. – URL: [https://health.mail.ru/news/voz\\_priznala\\_vozduh\\_zemli\\_smertelno\\_opasnym/](https://health.mail.ru/news/voz_priznala_vozduh_zemli_smertelno_opasnym/) (дата обращения: 19.07.2023).

<sup>3</sup> Опыт применения методологии оценки риска в Москве: Отчет по НИР «Разработка и апробация методики оценки риска здоровью населения от промышленных предприятий и автотранспорта на территории Юго-Восточного административного округа Москвы» / С.Л. Авалиани, Н.Н. Филатов, О.И. Аксенова, И.Ф. Волкова [и др.]. – М., 1999. – 116 с.; МосМР 2.1.9.004-03. Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду: методические рекомендации / С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, Н.Н. Филатов, Т.А. Шашина, З.И. Жолдакова, О.О. Сеницина, Н.С. Скворцова, А.В. Мацюк [и др.]. – М., 2000. – 80 с.; МосМР 2.1.9.003-03. Расчет доз при оценке риска многосредового воздействия химических веществ: Методические рекомендации / С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, Т.А. Шашина, Е.А. Шашина, О.В. Пономарева, А.З. Гудкевич, Н.Н. Филатов, О.И. Аксенова [и др.]. – М., 2003. – 28 с.; МосМР 2.1.9.005-03. Применение факторов канцерогенного потенциала при оценке риска воздействия химических веществ: методические рекомендации / С.М. Новиков, Б.А. Курляндский, Ю.А. Рахманин, Н.Н. Филатов [и др.]. – М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, Центр госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. – 44 с.

<sup>4</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Ю.А. Рахманин, С.М. Новиков, Т.А. Шашина, С.И. Иванов, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева, Е.Н. Беляев, М.В. Фокин [и др.]. – М.: Роспотребнадзор, 2004. – 143 с.

вающей стратегическую роль анализа риска здоровью в решении задач по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия [8], а также последующей разработки «Руководства по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска»<sup>5</sup>.

Масштабное внедрение методологии анализа риска воздействия растущего химического прессинга на здоровье населения определило и ряд новых актуализированных проблем для их приоритетного рассмотрения и решения, в частности, относящихся к факторам неопределенности и социально-экономической целесообразности [9, 10].

Неопределенности могут быть разделены на следующие категории:

- отсутствие или недостаточно полная информация, необходимая для корректной характеристики риска;
- использование параметров для оценки экспозиции и расчета рисков (неопределенность параметров);
- слабость доказательств в научной теории, необходимых для предсказания (прогноза) на основе причинных связей (неопределенности модели).

Обширные исследования, проведенные специалистами наших организаций, показали, что, несмотря на огромную разработанную в РФ нормативную базу по допустимому содержанию ХВ в атмосферном воздухе (1300 предельно допустимых концентраций (ПДК) и 450 ориентировочных безопасных уровней веществ (ОБУВ)), при обследовании источников выбросов в атмосферу загрязняющих веществ подавляющая их часть не имеет пока разработанных для них гигиенических регламентов.

Например, из 171 выявленного ХВ в выбросах автотранспорта к числу ненормированных относится 71 %, из 115 ХВ в выбросах в атмосферу от предприятия кабельной промышленности не нормировано 54, от металлургической промышленности из 73 ХВ не нормировано 77 %, от электрохимической промышленности из 88 ХВ не нормировано 58 %<sup>6</sup>. Даже в табачном дыме из 121 выявляемого ХВ не нормировано 76 %. То же самое отмечается в пред-

приятиях пищевой промышленности (кондитерских, копильных, кофейных): из 70–133 выявляемых ХВ к ненормированным относится 51–69 % [11].

Помимо недоучета опасности здоровью населения за счет невозможности оценки ненормированных веществ, практически важной задачей является оценка экспозиции и рисков от наиболее полного перечня воздействующих веществ. Однако сопоставление результатов отечественных и зарубежных работ, в которых представлены результаты оценки влияния выбросов автотранспорта и промышленных предприятий, демонстрирует ряд методически не решенных вопросов. Использование утвержденных в настоящее время методик расчетов выбросов промышленных предприятий не позволяет прогнозировать загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми частицами  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$ , что в дальнейшем сказывается на невозможности оценки их экспозиции и рисков здоровью [12].

Кроме того, необходимо учитывать, что к источникам загрязнения среды обитания относятся не только стационарные источники, но и передвижные, вклад выбросов которых в формирование рисков здоровью, в том числе канцерогенных, значителен. Соответственно, для получения достоверных результатов и в дальнейшем эффективного управления оценка риска здоровью от воздействия автотранспорта требует максимально полного учета компонентов выбросов, однако результаты собственных исследований демонстрируют также недоучет приоритетных ХВ, характерных для выбросов автотранспорта.

При оценивании распространения уровней приземных концентраций с использованием «Методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспорта» возникают ограничения, связанные с возможностью исключительно 10 компонентов (оксиды азота, серы диоксид,  $PM_{2.5}$ , керосин, углерода оксид, формальдегид, бенз(а)пирен, бензин, метан)<sup>7</sup>. Однако многочисленными исследователями установлен значимый вклад в формирование рисков здоровью населения от содержащихся в выбросах транспорта 1,3-бутадиена, бензола, акролеина<sup>8</sup> [13].

<sup>5</sup> Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска / Ю.А. Рахманин, О.О. Сеницына, С.М. Новиков, С.Л. Авалиани, Т.А. Шашина, В.А. Кислицин, Н.С. Додина, С.А. Скворонская [и др.]. – М., 2017. – 68 с.

<sup>6</sup> Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды. – СПб.: Профессинал, 2012. – 716 с.

<sup>7</sup> Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха: Приказ Минприроды РФ от 27.11.2019 № 804 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73240708/> (дата обращения: 17.06.2023); Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов / согласована Письмом Ростехнадзора от 07.12.2006 № 70К-46/853 [Электронный ресурс] // Е-Досье – Электронный эколог. – URL: [https://e-ecolog.ru/docs/WiI6HlvrXGIMJyH811Y5V?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F](https://e-ecolog.ru/docs/WiI6HlvrXGIMJyH811Y5V?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F) (дата обращения: 17.06.2023).

<sup>8</sup> Шелмаков С.В., Трофименко Ю.В., Лобиков А.В. Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте: уч. пособие. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2018. – 164 с.

На примере загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в г. Санкт-Петербурге<sup>9</sup> показано [14], что значительный недоучет рисков здоровью отмечен за счет не учитываемых ранее металлов (Pb, Cr, Ni, Cd, Al, Mo, Zn, Cu), мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) [15], поступающих от истирания шин, тормозных колодок и асфальтового покрытия, а их удельный вес во влиянии на заболеваемость детского контингента по всем изученным патологическим проявлениям был значительным.

Как показали исследования, в жилых помещениях загрязнение ХВ находится, как правило, на более высоком уровне, чем в атмосферном воздухе: из 17 приоритетных ХВ только по содержанию оксида углерода, меди, железа, цинка различий практически не отмечалось, превышение уровней содержания в атмосферном воздухе в пределах от 1,5 до 5–7 раз выявлялось по показателям оксидов азота, свинца, хрома, кадмия, толуола, ксилола, фенола, по показателям формальдегида, ацетона, бензола, этилбензола, стирола – от 2 до 50 раз, по этилацетату – от 2 до 100 раз<sup>10</sup>. Отмечено, что если медь, железо, цинк поступают в жилище только из наружного воздуха, а формальдегид, фенол, стирол, ацетон, этилацетат, ксилол, толуол – только из строительных, отделочных материалов, бытовой химии, косметики, то остальные попадают в воздух жилищ из обоих источников поступления. При этом показано, что из 156 органических соединений, выявляемых в воздухе жилищ при ремонте помещений (156 ХВ), ненормированными оказались 65 %.

Показано, что при работе локальных систем кондиционирования, помимо интенсивного заселения их бактериальной и грибковой флорой, в воздух помещений поступают различные кислородсодержащие, в том числе ненормированные летучие органические соединения (спирты, эфиры, альдегиды)<sup>11</sup>. Кроме того, определено, что среди групп атмосферных загрязнений, в состав которых входили высокотоксичные вещества, доля ХВ, не имеющих гигиенических нормативов, составляла для индолов 100 %, кетонов – 88 %, органических нитрилов – 83 %, олефинов и диенов – 73 %, циклических углеводородов – 56 %, ароматических соединений – 39 %, галогенсодержащих углеводородов – 38 %, фуранов – 25 %, альдегидов – 14 %<sup>10</sup>.

Большое количество ненормированных ХВ выявляется и в водной среде<sup>10</sup>. Например, при проведении исследования в г. Ижевске в прудовой воде определено 232 летучих соединения, из которых только 10 ХВ имели гигиенические нормативы ( $\approx 4$  %), а в питьевой воде после водоочистки – 103 ХВ, из которых только 9 ХВ имели норматив (9 %).

Таким образом, установлено, что представленные примеры касаются всех трех критериев выявления неопределенности, что определяет необходимость разработки и внедрения методологии учета вклада выявляемых ненормированных ХВ в корректную комплексную оценку риска здоровью от химических загрязнений окружающей среды.

Как видно из рис. 1, в основу используемых в настоящее время в зарубежной практике методов учета всего комплекса ХВ, способных оказать воздействие на здоровье человека, взято так называемое «дерево решений для оценки химической опасности – дерево токсичности» (a decision tree approach) G.M. Cramer (1978)<sup>12</sup> и введенный J.C. Munro (1996) [16] новый критерий токсикологической опасности – порог токсикологической опасности (the threshold of toxicological concern).

Взятое за основу дерево Крамера было модифицировано в трех практически используемых вариантах (см. рис. 1): как «программное обеспечение дерева токсичности» (toxtree software) [17], по заказу Организации экологического содействия развитию ОЭСР<sup>13</sup> и как классы пороговой токсичности для фармпрепаратов в питьевой воде [18].

При этом основным элементом этих программных продуктов является «Дерево Крамера» (табл. 1), представленное потенциально сильно токсическими веществами, подлежащими приоритетному токсикологическому исследованию и выражаемыми уровнями порога токсической опасности (ПТО) в дозах 0,3 и даже в 0,0025 мкг/кг массы животного, и тремя классами менее значимых ХВ, подлежащих расчету возможного суммарного потенциального риска здоровью с уровнем ПТО в пределах 1,5; 9 и 30 мкг/кг массы тела животного.

Таким образом, практическое использование ПТО позволяет в значительной мере минимизировать неопределенности, связанные с оценкой возможного негативного воздействия ХВ, для которых отсутствует достаточная токсикологическая информация для проведения полноценной оценки риска

<sup>9</sup> Леванчук А.В. Гигиеническое обоснование воздействия дорожно-автомобильного комплекса на атмосферный воздух жилой территории: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – СПб., 2017. – 48 с.

<sup>10</sup> Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды. – СПб.: Профессионал, 2012. – 716 с.

<sup>11</sup> Козуля С.В. Гигиенические основы профилактики заболеваний органов дыхания, связанных с использованием локальных систем кондиционирования воздуха: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2016. – 45 с.

<sup>12</sup> Cramer G.M., Ford R.A., Hall R.L. Estimation of toxic hazard – a decision tree approach // Food Cosmet. Toxicol. – 1978. – Vol. 16, № 3. – P. 255–276. DOI: 10.1016/s0015-6264 (76) 80522-6

<sup>13</sup> The OECD QSAR Toolbox [Электронный ресурс] // OECD. – URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/oecd-qsar-toolbox.htm> (дата обращения: 23.08.2023).

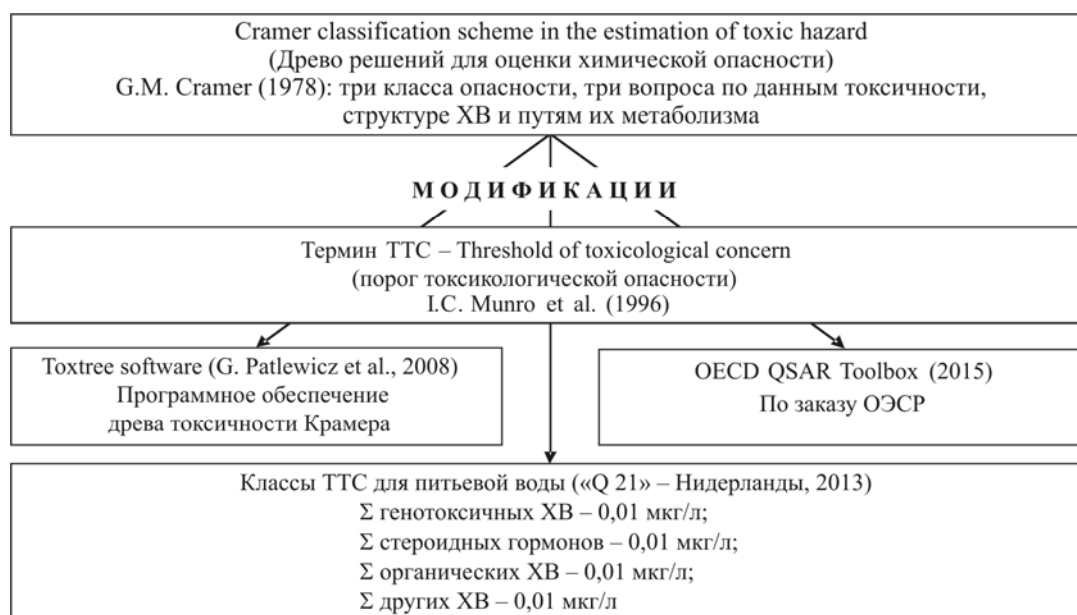


Рис. 1. Методы снижения неопределенностей при оценке риска здоровью от воздействия малоизученных химических веществ

Таблица 1

Классификация Крамера в программном обеспечении «Дерева токсичности» [17]

Класс опасности	ПТО (TTC)	
	мкг/сут	мкг/кг массы тела/сут
I класс (ХВ с простой ХС, известным метаболизмом, малой потенциальной токсичностью)	1800	30
II класс (ХВ с более сложной ХС, но не имеющие признаков токсичности, присущие III классу)	540	9
III класс (ХВ со сложной структурой ХС, характерной для ХВ со значительной токсичностью)	90	1.5
ХВ, подлежащие приоритетному токсикологическому исследованию		
Фосфорорганические и карбаматные ХВ с антихолинэстеразной активностью	18	0.3
Потенциальные мутагенные и / или канцерогенные ХВ	0.15	0.0025

Примечание: ХВ – химические вещества, ХС – химическая структура, ПТО – порог токсикологической опасности (TTC – Threshold of toxicological concern).

здоровью, а также в случаях, когда стоит задача дать приблизительную характеристику потенциального риска при воздействии новых, недостаточно изученных (ненормированных) ХВ, обнаруживаемых в окружающей среде. Скрининговая характеристика риска возможна по показателям: коэффициента опасности развития неканцерогенных эффектов (*HO*) для отдельных веществ; индексу опасности развития неканцерогенных эффектов (*HI*) [19].

Вместе с тем даже такая еще более аргументированная оценка риска здоровью от химического загрязнения окружающей среды не всегда является достаточным основанием для принятия управленческих решений. В связи с этим актуализируется проблема прогнозирования возможного социально экономического ущерба в случае принятия необходимых оздоровительных мер и без таковых. Из табл. 2 видно, что в используемых мировых системах для оценки ущерба применяется функция «экспозиция – от-

вет» с учетом разных возрастных групп, расчета натуральных и стоимостных ущербов здоровью, показателей смертности, заболеваемости, частоты выявления патологической симптоматики, числа недожитых лет жизни, различной продолжительности воздействия, как правило, связанных с загрязнением ХВ атмосферного воздуха. Модификация такой системы представлена и в РФ в виде программного продукта TERA 2,5 (модуль Epid Risk) [20].

На различных этапах управления риском не менее важным является расчет последствий сокращения периода экономической активности человека вследствие его смерти, инвалидности или временной утраты нетрудоспособности, представленных в общем виде на рис. 2. При этом чем больше экономическая эффективность, представленная в финансовом эквиваленте «выгода / затраты», т.е. чем выше предотвращение потери валового (регионального, национального) продукта, тем скорее и решительнее будут

Мировые системы для оценки ущербов на основе E-R-функций «экспозиция – ответ»

Система	Страна, назначение	Система	Страна, назначение
EAHEAP, COMEAP	Великобритания – для оценки ущербов здоровью от влияния а.в.	IEHIA	ЕС – система для оценки ущербов здоровью
ECOSENSE	Германия – интегрированный инструмент для анализа ущерба окружающей среде и здоровью человека	AQVM	Канада – для оценки ущербов здоровью и экономических ущербов от загрязнения а.в. для разных возрастных групп
AirPack	Франция, ЕС – для прогноза влияния а.в. на здоровье	EPA	U.S. EPA – доклады о соотношениях ущерб / выгоды от применения закона о чистом воздухе
FERET	США – для расчета натуральных и стоимостных ущербов здоровью	AirQ (ver. 1.0 – 2.3)	ВОЗ – для оценки смертности, заболеваемости, частоты симптоматики, числа недожитых лет жизни от загрязнения а.в.
ARNEIS 1,2,3	ЕС – о загрязнении а.в. в крупных городах, для сбора демографических данных, сведений о состоянии здоровья и для прогноза возможных ущербов здоровью	TERA 2.5 (модуль EpidRisk)	Россия – для оценки ущербов от загрязнения а.в. Содержит результаты 162 эпид. исследований, относительные риски на каждые 10 мг/м <sup>3</sup> для 10 ХВ и 182 эффекта при разной продолжительности воздействия

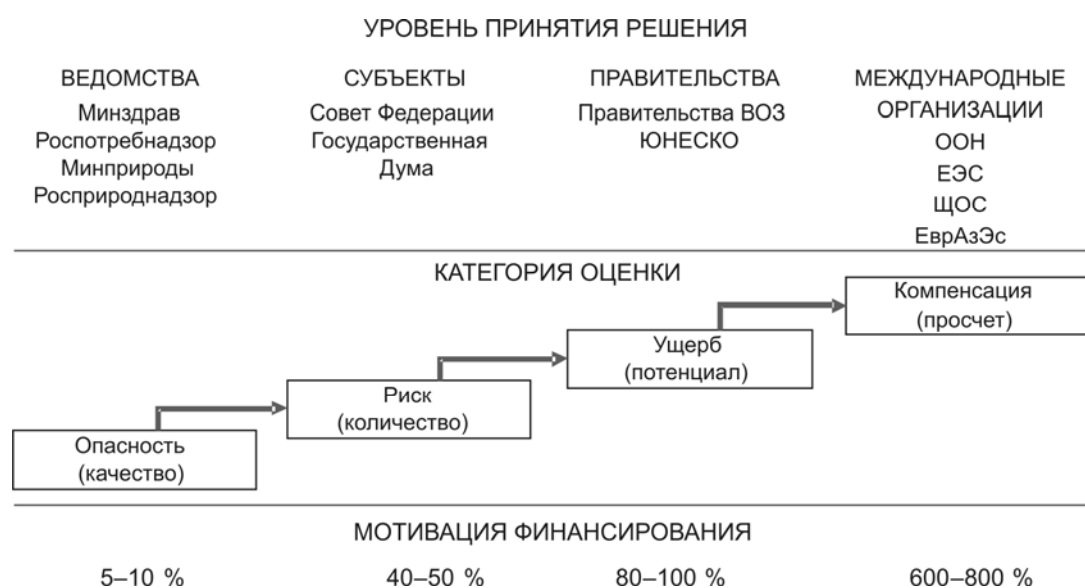


Рис. 2. Расчет последствий сокращения периода экономической активности человека вследствие его смерти, инвалидности или временной утраты нетрудоспособности

приняты соответствующие финансовые, материальные и производственные ресурсы для целей здоровьесбережения населения и устранения / сокращения предотвращения социально-экономических потерь. Так, по данным Е.Е. Андреевой, экономическая эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора по г. Москве в период 2012–2014 гг., исходя из предотвращенных потерь ВВП РФ от смертности и заболеваемости москвичей, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания, составила 24 рубля на 1 рубль затрат, т.е. 24/1, по ВРП г. Москвы – почти 47/1<sup>14</sup>.

**Выводы.** Методология анализа (оценка, управление, информирование) риска здоровью от загрязнения окружающей среды вредными хими-

ческими веществами является сложным системным процессом, предусматривающим, с одной стороны, максимально возможное расширение характеристики комплексности химического загрязнения окружающей среды, с другой – углубление представлений о возможном характере и последствиях негативного воздействия выявленных ХВ на организм человека и опосредованно – на значимые социально-экономические показатели общественного развития.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

<sup>14</sup> Андреева Е.Е. Научно-методические основы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения мегаполиса на базе модели риск-ориентированного надзора: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – СПб., 2017. – 49 с.

## Список литературы

1. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: WHO, 2017. – P. 541.
2. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. – WHO, 2021. – 300 p.
3. The public health impact of chemicals: knowns and unknowns – data addendum for 2016 [Электронный ресурс] // WHO. – 2018. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-18.09> (дата обращения: 25.09.2023).
4. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровью населения / В.Н. Ракитский, С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 23–29. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.03
5. Оценка риска для здоровья. Опыт применения методологии оценки риска в России. Обоснование приоритетности природоохранных мероприятий в Самарской области на основе эффективности затрат по снижению риска для здоровья населения / С.М. Новиков, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева [и др.] – М.: Консультационный центр по оценке риска, 1999. – 209 с.
6. Оценка риска как инструмент социально-гигиенического мониторинга / Б.А. Кацнельсон, Л.И. Привалова, С.В. Кузьмин, В.И. Чибуряев, Б.И. Никонов, В.Б. Гурвич. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2001. – 244 с.
7. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М., 2002. – 408 с.
8. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май, П.З. Шур, А.Ю. Попова, В.Б. Алексеев, О.В. Долгих, М.А. Землянова [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – М., Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. – 738 с.
9. 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. – Т. 95, № 8. – С. 711–716. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716
10. WHO, IPCS (International Program on Chemical Safety). Guidance document on evaluating and expressing uncertainty in hazard characterization, 2nd ed. [Электронный ресурс]. – Geneva: World Health Organization, 2018. – 159 p. – URL: <https://iris.who.int/handle/10665/259858> (дата обращения: 25.09.2023).
11. Обоснование максимальной разовой предельно допустимой концентрации летучих компонентов выбросов производства пищевых ароматизаторов в атмосферном воздухе населенных мест / О.В. Бударина, М.А. Пинигин, Л.А. Федотова, А.Г. Малышева // Токсикологический вестник. – 2016. – № 4 (139). – С. 11–15. DOI: 10.36946/0869-7922-2016-4-11-15
12. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте "Чистый воздух" в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы / С.В. Кузьмин, С.Л. Авалиани, Н.С. Додина, Т.А. Шашина, В.А. Кислицин, О.О. Синецкина // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 9. – С. 890–896. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896
13. Оценка выбросов загрязняющих веществ транспортными потоками на отдельных территориях Москвы / Ю.В. Трофименко, В.И. Комков, Б.А. Кутырин, Д.А. Деянов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 2 (61). – С. 84–91.
14. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Гигиеническая оценка атмосферного воздуха в районах с различной степенью развития дорожно-автомобильного комплекса // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 12. – С. 1117–1121. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1117-1121
15. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Количественная пространственно-временная оценка загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух в результате сгорания топлива автомобильного транспорта // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 11. – С. 1021–1024. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-11-1021-1024
16. Correlation of structural class with no-observed-effect levels: a proposal for establishing a threshold of concern / I.C. Munro, R.A. Ford, E. Kennepohl, J.G. Sprenger // Food Chem. Toxicol. – 1996. – Vol. 34, № 9. – P. 829–867. DOI: 10.1016/s0278-6915 (96) 00049-x
17. An evaluation of the implementation of the Cramer classification scheme in the Toxtree software / G. Patlewicz, N. Jeliaskova, R.J. Safford, A.P. Worth, B. Aleksiev // SAR QSAR Environ. Res. – 2008. – Vol. 19, № 5–6. – P. 495–524. DOI: 10.1080/10629360802083871
18. Potentially mutagenic impurities: analysis of structural classes and carcinogenic potencies of chemical intermediates in pharmaceutical syntheses supports alternative methods to the default TTC for calculating safe levels of impurities / S.M. Galloway, M. Vijayaraj Reddy, K. McGettigan, R. Gealy, J. Bercu // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2013. – Vol. 66, № 3. – P. 326–335. DOI: 10.1016/j.yrtph.2013.05.005
19. Risk Assessment of Combined Exposure to Multiple Chemicals: A WHO/IPCS Framework / M.E.B. Meek, A.R. Boobis, K.M. Crofton, G. Heinemeyer, M. Van Raaij, C. Vickers // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2011. – Vol. 60. – P. S1–S14. DOI: 10.1016/j.yrtph.2011.03.010
20. TERA – Российская информационно-прогнозирующая система, опыт применения в оценке риска для здоровья / С.М. Новиков, М.В. Фокин, Т.А. Шашина, Н.С. Додина // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1088–1090. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1088-1090

*Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 4. – С. 33–41. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.03*



## MODERN METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING PUBLIC HEALTH RISKS DUE TO CHEMICALS EXPOSURE

**Yu.A. Rakhmanin<sup>1,2</sup>, N.S. Dodina<sup>2</sup>, A.V. Alekseeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, 10 Pogodinskaya St., build. 1, Moscow, 119121, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, 2 Semashko St., Mytishchi, 141000, Russian Federation

*The methodology for analyzing health risks caused by exposure to chemical pollutants in the environmental has been widely implemented; this creates some new priority challenges to be considered and tackled.*

*The article identifies basic stages in the development of the methodology for assessing health risks caused by environmental pollution in the Russian Federation. Guides on risk analysis as well as some monographs published in Russia describe a strategic role that belongs to health risk analysis in providing sanitary-epidemiological wellbeing of the country population.*

*We have analyzed modern trends in the development of the methodology for assessing public health risks caused by exposure to chemicals that pollute the environment. The article generalizes basic approaches recommended in foreign and Russian studies that are applied to increase quality of research in the field, to reduce uncertainties in calculations, as well as to find new ways of health risk quantification. The number of chemicals registered on the global scale over the last 65 years has been estimated. The article also provides generalized information on computerized and information systems (CIS) and databases (DB) that contain data on parameters of assessing health risks caused by various chemical exposures including leading world systems that allow assessing health harm caused by chemical exposure (calculation of an additional number of adverse health outcomes due to chemical exposure etc.).*

*We have also summarized various reasons for underestimating public health risks and described several methodological approaches employed in research that make it possible to minimize underestimation of health hazards and reduce uncertainties of obtained results.*

*The methodology for assessing health risks caused by harmful chemical pollutants in the environment is a complex systemic process. On the one hand, it involves the necessity to provide the maximum possible profound description of complexity of chemical environmental pollution; on the other hand, it should give a more comprehensive insight into possible nature and consequences of adverse effects produced by identified chemicals directly on the human body and indirectly on significant socioeconomic indicators of the society development.*

*The aim of this study was to identify modern methodological approaches applied to assess public health risks due to chemical exposures and ways to reduce uncertainties of research results.*

**Keywords:** chemical hazard, risk analysis, risk management, health risk assessment, damage assessment, priority chemicals, uncertainty factors, chemicals, hygienic standardization.

### References

1. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva, WHO, 2017, pp. 541.
2. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. WHO, 2021, 300 p.
3. The public health impact of chemicals: knowns and unknowns – data addendum for 2016. WHO, 2018. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-18.09> (September 25, 2023).
4. Rakitskii V.N., Kuz'min S.V., Avaliani S.L., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A. Contemporary challenges and ways to improve health risk assessment and management. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 3, pp. 23–29. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.03.eng

© Rakhmanin Yu.A., Dodina N.S., Alekseeva A.V., 2023

**Yury A. Rakhmanin** – Academician, Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Scientific Advisor (e-mail: [71info@sysin.ru](mailto:71info@sysin.ru); tel.: +7 (495) 540-61-71; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2067-8014>).

**Natalia S. Dodina** – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: [skvnata@mail.ru](mailto:skvnata@mail.ru); tel.: +7 (495) 586-11-44; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6693-922X>).

**Anna V. Alekseeva** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Hygiene Department (e-mail: [AAlekseeva@cspmrz.ru](mailto:AAlekseeva@cspmrz.ru); tel.: +7 (495) 540-61-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382>).



5. Novikov S.M., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. [et al.]. Otsenka riska dlya zdorov'ya. Opyt primeneniya metodologii otsenki riska v Rossii. Obosnovanie prioritnosti prirodookhrannykh meropriyatii v Samarskoi oblasti na osnove effektivnosti zatrat po snizheniyu riska dlya zdorov'ya naseleniya [Health risk assessment. Experience in applying risk assessment methodology in Russia. Justification of the priority of environmental protection measures in the Samara oblast based on cost-effectiveness of reducing public health risks]. Moscow, Konsul'tatsionnyi tsentr po otsenke riska, 1999, 209 p. (in Russian).
6. Katsnel'son B.A., Privalova L.I., Kuz'min S.V., Chiburaev V.I., Nikonov B.I., Gurvich V.B. Otsenka riska kak instrument sotsial'no-gigienicheskogo monitoring [Risk assessment as a tool for social and hygienic monitoring]. Ekaterinburg, 'AMB' Publ., 2001, 244 p. (in Russian).
7. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu [Basics of public health risk assessment under exposure to chemicals that pollute the environment]. In: Yu.A. Rakhmanin, G.G. Onishchenko eds. Moscow, 2002, 408 p. (in Russian).
8. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., May I.V., Shur P.Z., Popova A.Yu., Alekseev V.B., Dolgikh O.V., Zemlyanova M.A. [et al.]. Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya [Analysis of health risks in the strategy of state socio-economic development]. In: G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva eds. Moscow, Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 2014, 738 p. (in Russian).
9. 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 sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 8, pp. 711–716. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-711-716 (in Russian).
10. WHO, IPCS (International Program on Chemical Safety). Guidance document on evaluating and expressing uncertainty in hazard characterization, 2nd ed. Geneva, World Health Organization, 2018, 159 p. Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/259858> (September 25, 2023).
11. Budarina O.V., Pinigin M.A., Fedotova L.A., Malysheva A.G. Substantiation of maximum single allowable concentration of food flavors volatile components in the residential areas atmospheric air. *Toksikologicheskii vestnik*, 2016, no. 4 (139), pp. 11–15. DOI: 10.36946/0869-7922-2016-4-11-15 (in Russian).
12. Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Sinitsyna O.O. The practice of applying health risk assessment in the Federal Project “Clean Air” in the participating cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): problems and prospects. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 9, pp. 890–896. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896 (in Russian).
13. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I., Kutyurin B.A., Dejanov D.A. Assessment of pollutant emissions traffic flows on individual territories of Moscow. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2020, no. 2 (61), pp. 84–91 (in Russian).
14. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Hygienic assessment of atmospheric air in the areas with different degrees of the development of the road-traffic complex. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 12, pp. 1117–1121. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1117-1121 (in Russian).
15. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Quantitative spatio-temporal assessment of pollutants in atmospheric air in the combustion of the fuel of road transport. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 11, pp. 1021–1024. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-11-1021-1024 (in Russian).
16. Munro I.C., Ford R.A., Kennepohl E., Sprenger J.G. Correlation of structural class with no-observed-effect levels: a proposal for establishing a threshold of concern. *Food Chem. Toxicol.*, 1996, vol. 34, no. 9, pp. 829–867. DOI: 10.1016/s0278-6915(96)00049-x
17. Patlewicz G., Jeliakova N., Safford R.J., Worth A.P., Aleksiev B. An evaluation of the implementation of the Cramer classification scheme in the Toxtree software. *SAR QSAR Environ. Res.*, 2008, vol. 19, no. 5–6, pp. 495–524. DOI: 10.1080/10629360802083871
18. Galloway S.M., Vijayaraj Reddy M., McGettigan K., Gealy R., Bercu J. Potentially mutagenic impurities: analysis of structural classes and carcinogenic potencies of chemical intermediates in pharmaceutical syntheses supports alternative methods to the default TTC for calculating safe levels of impurities. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2013, vol. 66, no. 3, pp. 326–335. DOI: 10.1016/j.yrtph.2013.05.005
19. Meek M.E.B., Boobis A.R., Crofton K.M., Heinemeyer, G., Van Raaij M., Vickers C. Risk Assessment of Combined Exposure to Multiple Chemicals: A WHO/IPCS Framework. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2011, vol. 60, pp. S1–S14. DOI: 10.1016/j.yrtph.2011.03.010
20. Novikov S.M., Fokin M.V., Shashina T.A., Dodina N.S. Tools for Environmental Risk Assessment (TERA) – Russian information forecasting systems, experience of application for health risk assessment. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1088–1090. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1088-1090 (in Russian).

Rakhmanin Yu.A., Dodina N.S., Alekseeva A.V. Modern methodological approaches to assessing public health risks due to chemicals exposure. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 4, pp. 33–41. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.03.eng

Получена: 22.08.2023

Одобрена: 11.11.2023

Принята к публикации: 20.12.2023