



## Методические подходы к количественной оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов, на примере волн тепла

П.З. Шур, Н.В. Зайцева, А.А. Хасанова, Е.В. Хрущева, М.Ю. Цинкер

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

### Резюме

**Введение.** Метеорологические факторы, в том числе учащающиеся волны тепла, могут быть причиной увеличения уровней риска здоровью.

**Цель исследования** – предложить методические подходы, позволяющие оценить количественные уровни риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов, на примере волн тепла.

**Материалы и методы.** Методические подходы были разработаны на базе концептуальных положений методологии оценки риска, а также основных положений МР 2.1.10.0057–12. При апробации на примере волн тепла использованы замеры температуры атмосферного воздуха г. Перми с 01.01.1992 по 31.12.2022; данные по заболеваемости за 2010–2022 гг.

**Результаты.** Предложены методические подходы к оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов. Они включают критерии выделения приоритетных метеорологических факторов, описание видов экспозиции и формулы для расчета их уровней, расчета количественных величин уровней риска для здоровья населения с учетом тяжести ответов, шкалу для их категорирования. При апробации на примере волны тепла 2010 г. в г. Перми установлено, что суммарный уровень риска для детского населения, обусловленный болезнями органов дыхания, составил  $2,66 \times 10^{-6}$ ; для взрослого населения трудоспособного возраста, обусловленный болезнями органов дыхания и болезнями системы кровообращения, –  $2,34 \times 10^{-8}$  и  $6,66 \times 10^{-7}$  соответственно; для населения пенсионного возраста, обусловленный болезнями органов дыхания, –  $1,81 \times 10^{-6}$ , болезнями системы кровообращения –  $1,03 \times 10^{-5}$ . Рассчитанные уровни риска категоризируются как минимальные и допустимые (приемлемые) в течение всей жизни.

**Заключение.** Предлагаемые подходы позволяют рассчитать количественные уровни риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов, с учетом тяжести вероятных ответов, а также оценить их допустимость.

**Ключевые слова:** метеорологические факторы, оценка риска здоровью населения, количественные критерии, уровень риска, волна тепла, адаптация.

**Для цитирования:** Шур П.З., Зайцева Н.В., Хасанова А.А., Хрущева Е.В., Цинкер М.Ю. Методические подходы к количественной оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов, на примере волн тепла // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 8 С. 7–17. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-8-7-17

## Methodological Approaches to Quantification of Human Health Risks Posed by Meteorological Factors Using Heat Waves as an Example

Pavel Z. Shur, Nina V. Zaitseva, Anna A. Khasanova, Ekaterina V. Khrushcheva, Mikhail Yu. Tsinker

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,  
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

### Summary

**Introduction:** Weather factors, including increasingly frequent heat waves, can raise human health risks.

**Objective:** To propose methodological approaches allowing quantitative assessment of health risk levels related to exposure to meteorological factors using heat waves as an example.

**Materials and methods:** The methodological approaches were developed based on conceptual provisions of the health risk assessment methodology and Russian Guidelines MR 2.1.10.0057–12, *Assessment of risk and damage from climate changes that increase morbidity and mortality rates in at-risk populations*. They were then tested on heat waves using air temperatures registered in the city of Perm from January 01, 1992 to December 31, 2022 and respiratory and circulatory disease incidence rates observed in 2010–2022.

**Results:** Approaches to assessing human health risks posed by weather factors are described. They include priority setting criteria, description of exposures, formulas for calculating their levels and health risks given the severity of outcomes, and the rating scale. The results of testing the approach using data on 2010 heat wave in Perm showed that the total risk for the child population associated with respiratory diseases was  $2.66 \times 10^{-6}$ ; those for the adults and attributed to respiratory and cardiovascular diseases –  $2.34 \times 10^{-8}$  and  $6.66 \times 10^{-7}$ , respectively; and those for the elderly population and related to respiratory and cardiovascular diseases were  $1.81 \times 10^{-6}$  and  $1.03 \times 10^{-5}$ , respectively. The lifetime risks were ranked as minimal and acceptable.

**Conclusions:** The suggested approaches facilitate quantitative assessment of risks posed by meteorological exposures taking into account severity of likely health outcomes and determination of their acceptability.

**Keywords:** meteorological factors, health risk assessment, quantitative criteria, risk level, heat wave, adaptation.

**Cite as:** Shur PZ, Zaitseva NV, Khasanova AA, Khrushcheva EV, Tsinker MYu. Methodological approaches to quantification of human health risks posed by meteorological factors using heat waves as an example. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(8):7–17. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-8-7-17

**Введение.** Последние годы характеризуются значительными изменениями климата на Земле. Наблюдается увеличение частоты экстремальных погодных явлений, таких как аномальная жара в одних регионах и суровые снежные зимы в других. Экологи фиксируют тенденцию глобального потепления, что приводит к дисбалансу природных систем, температурным аномалиям и усилению экстремальных природных явлений.

По данным доклада о влиянии изменений климата на здоровье населения, подготовленном в 2023 г. Институтом народнохозяйственного прогнозирования РАН, влияние долговременных процессов изменения климата проявляется в увеличении числа климатозависимых инфекционных заболеваний, а экстремальных погодных явлений – приводит к избыточной смертности, и в том числе неинфекционной заболеваемости населения<sup>1</sup>. Влияние климата и метеорологических факторов (метеофакторов) на здоровье населения изучается в рамках доклада журнала Lancet Countdown о здоровье и изменении климата, в Шестом оценочном докладе МГЭИК (IPCC), Третьем оценочном докладе Росгидромета, исследованиях ВОЗ и т.д.<sup>2,3,4,5</sup>

По данным ВОЗ, бремя неинфекционных заболеваний, прежде всего респираторных и сердечно-сосудистых, усугубляется меняющимися климатическими условиями, которые могут повышать распространенность или степень их тяжести<sup>6</sup>. Вместе с этим неинфекционные заболевания вносят существенный вклад в структуру заболеваемости в Российской Федерации, что обуславливает актуальность их изучения. Установлено, что экстремальные температуры атмосферного воздуха могут приводить к обострению заболеваний ряда органов и систем и увеличению смертности, что подтверждается исследованиями Б.А. Ревича и соавт., R.J. Rocque et al., B.M. Beker et al., A. Crimmins et al. и др. [1–4]. В качестве наиболее подверженных их влиянию можно выделить сердечно-сосудистую систему и органы дыхания [1, 5–7]. По данным работ N. Boussousou et al., P.D. Houck et al., В.И. Хаснулина и соавт., перепады атмосферного давления могут быть причиной увеличения риска для здоровья населения,

обусловленного обострениями течения болезней сердечно-сосудистой системы [8–10]. Влажность воздуха оказывает влияние на органы дыхания, так как недостаточное содержание водяных паров способствует изменению проницаемости аэрогема-тического барьера [11]. Ветер способствует повышению возбудимости ЦНС, появлению головных болей и ощущения тревоги [12].

Согласно принятым мировым сообществом целям устойчивого развития, метеофакторы и их изменения обуславливают весомую часть совокупного риска для жизни и здоровья населения, связанного с факторами окружающей среды<sup>7</sup>. Для эффективной адаптации населения утвержден «Национальный план мероприятий адаптации к изменениям климата», а также ежегодно разрабатываются отраслевые планы, в том числе в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения<sup>8</sup>. Их реализация является одной из приоритетных задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, а проводимые в данной области научные исследования служат информационно-методической основой для разработки управленческих решений, направленных в том числе на сохранение здоровья населения [13]. В соответствии с «Отраслевым планом мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения на 2024–2025 годы», одной из основных задач является оценка, анализ и прогнозирование воздействия климатических факторов с использованием в числе прочего методических подходов к количественной оценке индивидуального и популяционного риска, связанного с воздействием климатических факторов<sup>9</sup>.

Одним из первых отечественных документов, позволяющих провести оценку риска для здоровья, формирующегося при воздействии метеорологических факторов, были Методические рекомендации МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска»<sup>10</sup>. Предложенные методические подходы используются в настоящее

<sup>1</sup> Ревич Б.А., Порфирьев Б.Н., ред. Меняющийся климат и здоровье населения: проблемы адаптации: научный доклад. М.: Динамик Принт, 2023. 168 с.

<sup>2</sup> Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет. Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. 676 с.

<sup>3</sup> Pörtner H.O., Roberts D.C., Tignor M., et al. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Published 2022. Accessed June 10, 2024. [https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf)

<sup>4</sup> Без сожалений: расширение масштабов деятельности по смягчению последствий изменения климата и его воздействия на здоровье людей в европейском регионе ВОЗ. Второе издание. Основные тезисы Рабочей группы по изменению климата и его влиянию на здоровье. ВОЗ, Европейское бюро; 2023. 24 с.

<sup>5</sup> Romanello M., McGushin A., Hamilton I., Hartinger S., Yglesias-González M. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet*. 2021;398(1311):1619–1622. doi: 10.1016/S0140-6736(21)01787-6

<sup>6</sup> Без сожалений: расширение масштабов деятельности по смягчению последствий изменения климата и его воздействия на здоровье людей в европейском регионе ВОЗ. Основные тезисы Рабочей группы по охране здоровья в условиях изменения климата // Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ. 2028. 15 p. <https://iris.who.int/rest/bitstreams/1510005/retrieve>

<sup>7</sup> Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года: Распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 г. № 3183-р (ред. от 17.08.2021). [Электронный ресурс.] // КонсультантПлюс. Доступно по: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_342408/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_342408/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/) (дата обращения: 05.06.2024).

<sup>8</sup> О климатической доктрине Российской Федерации: Распоряжение Президента Российской Федерации от 17.12.2009 г. № 861-рп [Электронный ресурс.] // Правительство России. Доступно по: <http://government.ru/docs/all/70631/> (дата обращения: 03.06.2024).

<sup>9</sup> Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года: Распоряжение Правительства РФ от 11.03.2023 г. № 559-р [Электронный ресурс.] // Правительство России. Доступно по: <http://static.government.ru/media/files/DzVPGII7JgT7QYRoogphpW69KKQREGTB.pdf> (дата обращения: 03.06.2024 г.).

<sup>10</sup> МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 48 с.

время, однако для решения задач, актуальных в контексте современных исследований и практических действий в области минимизации рисков и сохранения здоровья населения в условиях изменения климата, требуется их дополнение. Особое внимание следует уделить обновлению методологии с точки зрения применимости полученных результатов для реализации отраслевых планов мероприятий по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Так, новые подходы должны позволять проводить количественную оценку рисков для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеофакторов, как вероятности возникновения нарушений здоровья с учетом тяжести последствий вредного воздействия фактора, а также осуществлять категорирование рисков и оценку их приемлемости, что является одними из определяющих положений методологии оценки риска.

По данным «Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год» НИУ Росгидромета, температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны<sup>11</sup>. Прямым следствием общего роста температуры является изменение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, в том числе волн тепла [2, 14]<sup>12</sup>. В связи с этим целесообразно апробировать разрабатываемые методические подходы к оценке риска на примере волн тепла, являющихся одним из актуальных метеофакторов.

**Цель исследования** – предложить методические подходы, позволяющие оценить количественные уровни риска для здоровья населения, формирующиеся в условиях воздействия метеофакторов, на примере волн тепла.

**Материалы и методы.** Методические подходы были разработаны на базе концептуальных положений методологии оценки риска, а также основных положений МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска»<sup>13,14,15</sup>.

Апробация проведена на примере г. Перми с использованием данных замеров максимальной суточной температуры атмосферного воздуха на метеорологической площадке метеостанции «Пермь» (28224) с 01.01.1992 по 31.12.2022, полученных с сайта ВНИИГМИ-МЦД<sup>16</sup>. Волны тепла рассчитаны для летних месяцев (июнь, июль, август) в соответствии с методикой, изложенной в рамках МР 2.1.10.0057–12<sup>17</sup>.

При оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия волн тепла, на этапе идентификации опасности в соответствии с разработанным алгоритмом были определены вероятные климаточувствительные ответы, обусловленные их влиянием. Для этого был проведен анализ 112 релевантных исследований, содержащих данные эпидемиологических исследований и математического моделирования о влиянии волн тепла/жары на неинфекционную заболеваемость населения за период 2010–2024 гг.

Заболеваемость населения оценивалась по деперсонифицированным сведениям о количестве обратившихся за медицинской помощью в сутки в г. Перми (данные ТФОМС) за 2010–2022 гг. в разрезе возрастных групп (детское население, взрослое население трудоспособного возраста, взрослое население пенсионного возраста) по нозологическим формам и группам нозологических форм в рамках классов «болезни системы кровообращения» и «болезни органов дыхания».

Данные о численности населения были получены от Территориального органа Федеральной службы Государственной статистики по Пермскому краю (Пермьстат). Численность детского населения в 2010 г. составила 298 780, населения трудоспособного возраста – 820 841, населения старше трудоспособного возраста – 94 403 человек<sup>18</sup>.

В основе расчета дополнительной вероятности заболеваемости, обусловленной влиянием волн тепла, лежала разница между средней обращаемостью за медицинской помощью в те дни, которые относятся к тепловым волнам и в течение двух дней после волны, и остальными днями. В тех случаях, когда разница заболеваемости была установлена, на основе полученной дельты заболеваемости населения в периоды волны тепла и в течение двух дней после и в остальные дни были установлены показатели, характеризующие увеличение заболеваемости населения на каждый 1 °C температуры атмосферного воздуха выше 97-го перцентиля многолетнего распределения максимальных суточных температур. Вычисление необходимых показателей осуществлялось с использованием стандартного статистического пакета Microsoft Excel 2013. Обработка данных осуществлялась на основе общепринятых методов статистической обработки данных. Показатель тяжести определялся в виде безразмерного коэффициента из диапазона от 0 до 1 на уровнях, рассчитанных на основе величин, рекомендуемых ВОЗ<sup>19,20</sup>.

<sup>11</sup> Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. Москва, 2024. 104 с. ISBN 978-5-906099-58-7

<sup>12</sup> Ревич Б.А., Порфирьев Б.Н., ред. Меняющийся климат и здоровье населения: проблемы адаптации: научный доклад. М.: Динамик Принт, 2023. 168 с.

<sup>13</sup> МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 48 с.

<sup>14</sup> Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития // Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024, Т. 1. 580 с.

<sup>15</sup> Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития. Монография // Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – 2-е изд., перераб. и доп. М. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024, Т. 1. 580 с., Т. 2. 468 с.

<sup>16</sup> Специализированные массивы для климатических исследований: ВНИИГМИ-МЦД. Доступно по: <http://meteo.ru/it/178-aisori>

<sup>17</sup> МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 48 с.

<sup>18</sup> Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. <https://59.rosstat.gov.ru/>

<sup>19</sup> WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019: Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2020.3. Geneva: WHO, 2020.

<sup>20</sup> Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. 221 с.

**Результаты.** Методические подходы к оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеофакторов, были разработаны на основе принципов пороговости действия и этапности проведения процедуры оценки. Особенностью принципа пороговости применительно к метеофакторам является возможность использования в качестве порогового уровня как определенных уровней действия фактора, при котором отсутствует статистически значимое увеличение частоты или выраженности неблагоприятных эффектов для здоровья населения, связанных с его влиянием, так и границ диапазонов влияния метеофакторов (например, для биоклиматических индексов, представляющих собой показатели, характеризующие особенности тепловой структуры окружающей человека среды в условиях одновременного влияния нескольких метеофакторов).

Основные этапы оценки риска могут быть реализованы в виде алгоритма, представленного на рис. 1.

На этапе **идентификации опасности** устанавливаются приоритетные метеофакторы, которые могут стать причиной формирования риска для здоровья населения. Для их определения составляется перечень факторов и их показателей, характерных для территории, для населения которой проводится оценка риска. Могут быть использованы показатели, характеризующие как влияние одного метеофактора, так и сочетанное влияние нескольких метеофакторов в виде биоклиматических индексов. Для каждого из показателей устанавливается перечень вероятных климаточувствительных ответов со стороны здоровья населения и контингент исследования с выбором наиболее уязвимых групп.

Полученный перечень сопоставляется с критериями приоритетности для включения в дальнейшую оценку риска, в качестве которых рекомендуется использовать:

- наличие исходных данных о значениях показателей метеофактора для анализируемой территории за необходимый промежуток времени;
- значимость фактора для населения, проживающего на анализируемой территории (значения показателя выходят за пределы установленных диапазонов комфорта или пороговых уровней) [15];
- наличие данных о вероятных ответах со стороны здоровья населения, обусловленных влиянием анализируемых метеофакторов и их показателей.

На этапе **оценки зависимости «экспозиция – эффект (ответ)»** устанавливаются количественные показатели, описывающие связи между уровнями экспозиции метеорологических факторов и вероятными ответами. Они определяют вероятность нарушения здоровья на единицу величины или степени изменения фактора, находящегося за границами установленного диапазона значений, в пределах которого вероятность возникновения негативных ответов пренебрежимо мала (за пределами порогового уровня). Показатели зависимости «экспозиция – эффект (ответ)» могут быть представлены в виде эпидемиологических показателей и показателей, полученных по результатам математического моделирования зависимости «экспозиция – ответ». Они могут быть установлены при анализе ранее опубликован-

ных данных или рассчитаны с применением методов математического моделирования (в виде парных регрессионных моделей и множественных регрессионных моделей) или эпидемиологического анализа.

При использовании результатов ранее опубликованных исследований необходимо, чтобы показатели характеризовали вероятность нарушения здоровья на единицу изменения фактора (например, на каждый мм рт. ст., на каждый °C выше/ниже установленного диапазона действующего уровня и др.) в диапазоне действующих уровней, используемые связи должны быть статистически значимыми и биологически правдоподобными.

При анализе математических моделей зависимости «экспозиция – ответ» предпочтительными являются результаты логистических регрессионных моделей. Ключевым показателем является величина коэффициента регрессии, характеризующего изменение вероятности возникновения негативных эффектов со стороны здоровья населения на единицу экспозиции. Из эпидемиологических показателей для задач оценки риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеофакторов, целесообразно использовать показатель разницы рисков (RR).

На этапе **оценки экспозиции** осуществляется количественная оценка уровней экспозиции метеофакторов. Этап включает в себя определение зоны воздействия изучаемых факторов и расчет уровней экспозиции метеорологических факторов для населения, проживающего на данной территории.

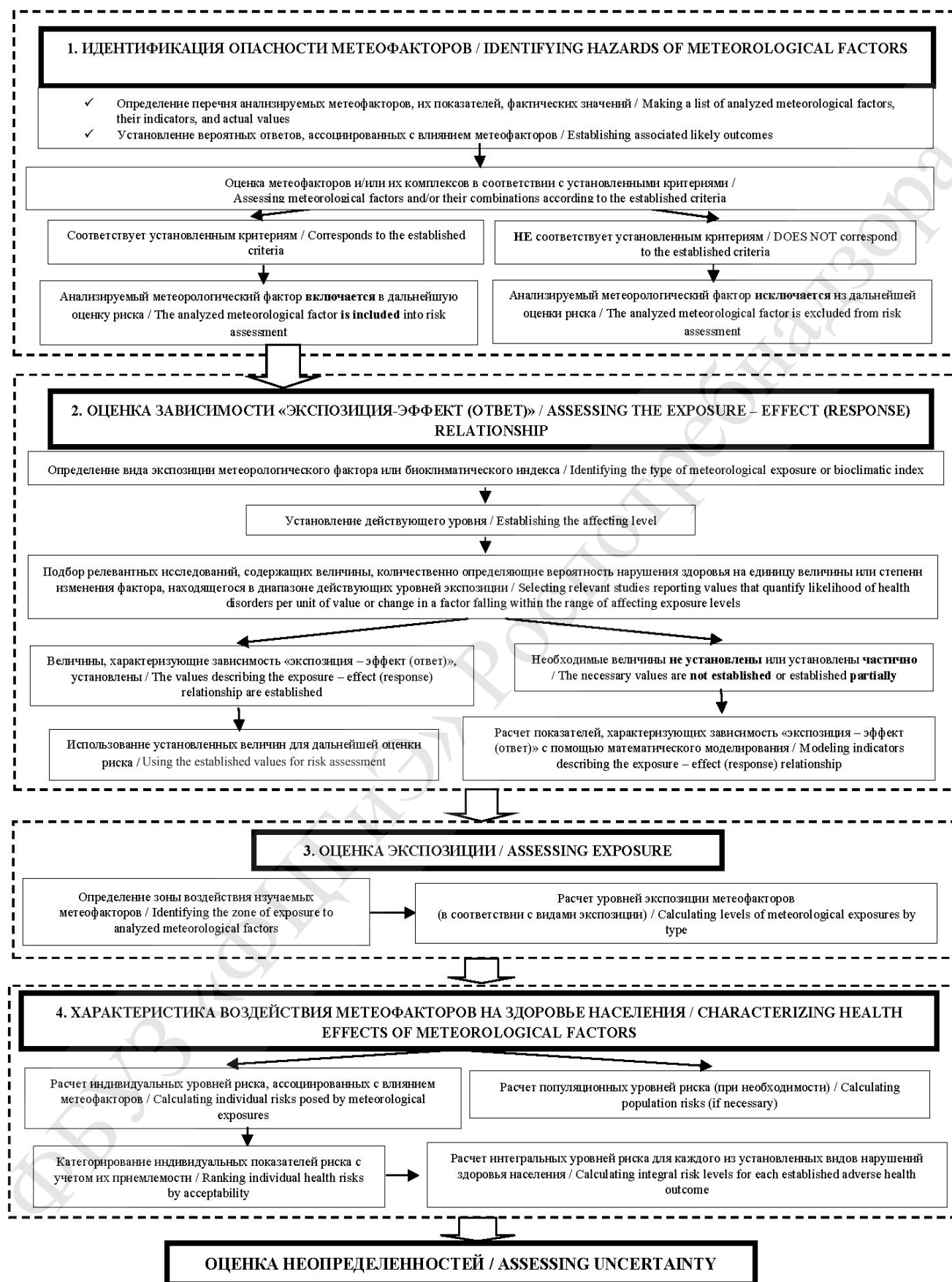
В качестве зоны воздействия принимается территория, на которой анализируемый фактор регистрируется на уровнях, способных вызывать нарушения состояния здоровья для исследуемого контингента населения.

Целесообразно рассматривать зависимость нарушения здоровья с учетом следующих видов экспозиции:

- величин показателя, характеризующего метеорологический фактор (в °C, мм рт. ст., % и др.), или биоклиматического индекса (в единицах индекса);
- вариаций показателя, характеризующего метеорологический фактор, или вариаций биоклиматического индекса (величин изменения), например, количество °C выше порога, определяемого как волна жары, или количество °C за пределами диапазона, характеризующего отсутствие температурного стресса, за каждый день/месяц;
- периода времени, в течение которого величина показателя или биоклиматического индекса находилась в диапазоне действующих уровней;
- повторяемости вариаций показателя, характеризующего метеорологический фактор, или вариаций биоклиматического индекса.

В зависимости от выбранного вида экспозиции в табл. 1 предложены следующие формулы для расчета ее уровня.

На этапе **характеристики риска** осуществляется расчет и категорирование количественных уровней риска, ассоциированных с влиянием метеофакторов, на основе вероятности изменения состояния здоровья населения. Она может быть определена как на основе численных данных математических



**Рисунок.** Алгоритм оценки риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов

**Figure.** Algorithm for assessing population health risks posed by exposure to meteorological factors

Таблица 1. Формулы для расчета уровня экспозиции метеорологического фактора

Table 1. Formulas for calculating the level of exposure to meteorological factors

| № | Формула/ Formula             | Обозначения / Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | $E_s = A_{cp\ t}$            | $E_s$ – уровень экспозиции, выраженной в виде величин показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматический индекс / the level of exposure expressed as the value of an indicator characterizing a meteorological factor or bioclimatic index<br>$A_{cp\ t}$ – величина показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматический индекс, осредненная за период времени $t$ (месяц, год и др.) / the value of an indicator characterizing a meteorological factor or bioclimatic index averaged over the time period $t$ (month, year, etc.)                                                                                                                                 |
| 2 | $\Delta E_v = A_{fcp} - A_p$ | $\Delta E_v$ – уровень экспозиции, представленной в виде вариаций показателя, характеризующего метеорологический фактор, или вариаций биоклиматического индекса / the level of exposure expressed as the variation of an indicator characterizing a meteorological factor or bioclimatic index variations<br>$A_{fcp}$ – фактическая величина показателя, характеризующего метеорологический фактор или биоклиматический индекс / the actual value of an indicator characterizing a meteorological factor or bioclimatic index<br>$A_p$ – величина, соответствующая значению ближайшей границы диапазона действующих уровней / the value corresponding to the closest boundary of the range of affecting levels    |
| 3 | $E_t = T$                    | $E_t$ – уровень (продолжительность) экспозиции, представленной в виде периода времени, в течение которого величина показателя или биоклиматического индекса находилась в диапазоне действующих уровней, дней, месяцев, лет / level (duration) of exposure during which the value of an indicator or bioclimatic index was within the range of affecting levels (days, months, years)<br>$T$ – продолжительность периода, в течение которого величина показателя или биоклиматического индекса ( $A$ ) находилась в диапазонах действующих уровней ( $AN$ ) ( $AN_{ниж} < A < AN_{верх}$ ) / time span during which the value of an indicator or bioclimatic index ( $A$ ) was within the range of affecting levels |
| 4 | $E_p = \sum_{k=1}^n K$       | $E_p$ – уровень экспозиции, представленной в виде повторяемости вариаций показателя или биоклиматического индекса / level of exposure expressed as the recurrence of variations of an indicator or bioclimatic index<br>$K$ – единичная вариация метеорологического показателя/индекса, ед. / a single variation of a meteorological indicator, units                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

моделей, характеризующих связи между экспозицией метеорологических факторов и ассоциированными негативными эффектами, так и на основе эпидемиологических исследований – как разность оценок заболеваемости при фактическом уровне действия фактора и пороговом уровне.

Определение индивидуальных уровней риска выполняется как произведение вероятности нарушений здоровья населения, связанных с действием метеорологических факторов, и тяжести установленных ответов для каждого из видов нарушений здоровья.

Расчет вероятности нарушений здоровья ( $P_i$ ), связанных с воздействием метеорологических факторов, осуществляется как произведение рассчитанного уровня экспозиции метеорологического фактора ( $E_s$ ,  $\Delta E_v$ ,  $E_t$ ,  $E_p$ ) и соответствующего показателя, характеризующего зависимость «экспозиция – эффект (ответ)»: в единицах экспозиции; на каждую единицу величины или степени изменения фактора, находящегося в диапазоне действующих уровней; на единицу периода времени (день, месяц и др.)

в течение которого величина показателя или биоклиматического индекса находилась в диапазоне действующих уровней; для каждой вариации показателя или биоклиматического индекса.

На основе вероятностей возникновения нарушений здоровья населения ( $P_i$ ) с использованием коэффициента тяжести рассчитываются индивидуальные уровни риска ( $R_{инд.}$ ) для каждого из установленных нарушений здоровья (формула 1).

$$R_{инд.} = P_i \times g_i, \quad (1)$$

где  $R_{инд.}$  – индивидуальный уровень риска здоровью / where  $R_{ind}$  is individual health risk;

$P_i$  – вероятность возникновения  $i$ -го нарушения здоровья населения /  $P_i$  is likelihood of the  $i$ -th negative health outcome;

$g_i$  – коэффициент тяжести для  $i$ -го вида нарушений здоровья /  $g_i$  is the coefficient that describes severity of the  $i$ -th health outcome<sup>21,22</sup>.

Для категорирования рассчитанных уровней риска используется классификация, применяемая

Таблица 2. Категорирование индивидуальных пожизненных уровней риска для здоровья населения, формирующихся в условиях воздействия метеорологических факторов

Table 2. Ranking of individual lifetime risks posed by exposure to meteorological factors

| Характеристика риска / Risk description | Величина индивидуального пожизненного риска / Individual lifetime risk | Профилактические мероприятия / Preventive actions                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Высокий / High                          | $> 10^{-3}$                                                            | Целесообразно рекомендовать разработку мер по предупреждению нарушений и созданию условий сохранения здоровья населения / It is expedient to recommend developing measures for health maintenance and prevention of adverse health outcomes |
| Настораживающий / Alerting              | $1,1 \times 10^{-4} \dots 1,0 \times 10^{-3}$                          |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Допустимый (приемлемый) / Acceptable    | $1,1 \times 10^{-6} \dots 1,0 \times 10^{-4}$                          | Не требуют проведения профилактических мероприятий по адаптации населения к воздействию метеорологических факторов / No measures to adapt the population to exposure to adverse meteorological factors are necessary                        |
| Минимальный / Minimal                   | $\leq 1,0 \times 10^{-6}$                                              |                                                                                                                                                                                                                                             |

<sup>21</sup> Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 320 с. Утвержденное Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.09.2023.

<sup>22</sup> WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019: Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2020.3. Geneva: WHO; 2020.

для оценки индивидуальных уровней пожизненного риска, ассоциированных с различными факторами окружающей среды (табл. 2)<sup>23</sup>.

Также может быть рассчитан популяционный уровень риска, представляющий собой произведение вероятности возникновения нарушений здоровья населения ( $P_i$ ) и количества населения под влиянием метеофактора. Он характеризует вероятность случая заболевания, обусловленного метеофактором, в исследуемой популяции.

Расчет интегрального риска для здоровья населения, обусловленного каждым из видов нарушений здоровья, осуществляется в соответствии с формулой (2):

$$R_{\text{инт.}i} = 1 - (1 - R_{\text{метео.1}}) \times (1 - R_{\text{метео.2}}) \times (1 - R_{\text{метео.}n}), \quad (2)$$

где  $R_{\text{инт.}i}$  – интегральный уровень риска для здоровья населения, обусловленный  $i$ -м видом нарушения здоровья населения / integral level of risk to public health caused by the  $i$ -th type of health disorder;

$R_{\text{метео.1}}, R_{\text{метео.2}}, R_{\text{метео.}n}$  – уровень риска для здоровья населения, обусловленный влиянием метеофакторов 1, 2, 3 ...  $n$  на развитие  $i$ -го вида нарушения здоровья населения / level of risk to public health caused by the influence of meteorological factors 1, 2, 3 ...  $n$  on the development of the  $i$ -th type of health disorder.

При проведении оценки риска для здоровья населения, связанного с воздействием метеорологических факторов, необходимо проводить оценку неопределенностей, которые могут включать, например, высокую вариабельность значений метеорологических параметров или их отсутствие за определенные периоды наблюдений; степень адаптации населения к метеорологическим условиям, сложившимся на анализируемой территории; установление значения пороговых уровней метеорологических факторов или диапазонов комфорта для биоклиматических индексов и др.

Неопределенность результатов оценки риска, определяющая возможность их дальнейшего использования, устанавливается экспертным путем. Результаты с высокой степенью неопределенности могут быть использованы преимущественно для информирования населения о потенциальных рисках; со средней степенью неопределенности – могут быть использованы для принятия решения о необходимости разработки мер профилактики и адаптации населения к воздействию метеорологических факторов только при высоких уровнях риска ( $> 10^{-3}$ ); с низкой степенью неопределенности – для задач управления рисками, направленных на охрану здоровья населения и минимизацию негативного воздействия метеорологических факторов.

При апробации предложенных подходов к оценке риска здоровью населения на этапе идентификации опасности установлено, что наиболее продолжительным периодом, удовлетворяющим

необходимым требованиям, определяющим волну тепла, соответствовал период с 29 июля по 2 августа 2010 г. Продолжительность волны составила 5 дней.

Вероятными ответами со стороны здоровья населения, по данным анализа литературы, являются заболевания по классу болезни системы кровообращения (I10–I15 Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением, I20–I25 Ишемическая болезнь сердца, I49–I50 Другие болезни сердца, I60–I64 Цереброваскулярные болезни) и болезни органов дыхания (J30–J37 Другие болезни верхних дыхательных путей, J40–J47 Хронические болезни нижних дыхательных путей) [1, 3, 16]<sup>24</sup>. Контингент исследования – дети, население трудоспособного и старше трудоспособного возраста.

На этапе оценки зависимости «экспозиция – эффект (ответ)» в качестве вида экспозиции были использованы вариации показателя, характеризующего метеорологический фактор, а именно – увеличение локального многолетнего распределения максимальных суточных значений температуры воздуха выше 97-го перцентиля. Рассчитанные показатели дополнительной вероятности заболеваемости населения по выделенным нозологическим формам в условиях волн тепла (на 1 человека в сутки на каждый 1 °C увеличения температуры атмосферного воздуха в рамках волны тепла) приведены в табл. 3.

При расчете экспозиции установлено, что посуточные превышения температуры над пороговым значением, определяющим для данной территории границы волны тепла (31,7 °C для 97-го перцентиля многолетнего распределения температур), составили от 0,8 до 5 °C.

На этапе характеристики риска рассчитаны уровни риска для здоровья населения г. Перми в условиях влияния волны тепла 2010 года, обусловленные выделенными нозологическими формами. Использованы следующие показатели тяжести ответов: хронический бронхит неуточненный (J42) – 0,105, хронический ларингит и ларинготрахеит (J37) – 0,016, хронический ринит, назофарингит и фарингит (J31) – 0,016, астма (J45) – 0,105, гипертензивная болезнь сердца (I11) – 0,062, цереброваскулярные болезни (I60–I69) – 0,071, инсульт, не уточненный как кровоизлияние или инфаркт (I64) – 0,071, ишемическая болезнь сердца (I20–I25) – 0,075, остановка сердца (I46) – 0,131<sup>25</sup>.

Проведено суммирование уровней риска в рамках классов заболеваний (табл. 3).

Рассчитанные уровни риска для детского и взрослого населения трудоспособного возраста категоризируются как минимальные. Для населения пенсионного возраста уровни риска, обусловленные болезнями органов дыхания, категоризируются как минимальные, а болезнями системы кровообращения – как допустимые (приемлемые) в течение всей жизни. Основной вклад в формирование суммарного уровня

<sup>23</sup> Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития // Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. 2-е изд., перераб. и доп. М. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024. Т. 1. 580 с., Т. 2. 468 с.

<sup>24</sup> МР 2.1.10.0057–12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 48 с.

<sup>25</sup> Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 320 с. Утвержденное Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.09.2023.

**Таблица 3. Результаты расчета показателей дополнительной вероятности заболеваемости населения г. Перми в условиях влияния волны тепла 2010 г. и формируемых уровней риска****Table 3. Results of calculating additional likelihood of incidence among the population of Perm following exposure to the 2010 heat wave and the resulting risk levels**

| Возрастная группа / Age group                       | Класс заболеваний (МКБ-10) / Disease category (ICD-10)              | Нозологическая форма (МКБ-10) / Disease (ICD-10)                                                          | Дополнительная вероятность заболеваемости (на 1 °C в рамках волны тепла) / Additional likelihood of the disease (per 1 °C increment during the heat wave) | Дополнительная вероятность заболеваемости за волну тепла 2010 г. / Additional likelihood of the disease during the whole 2010 heat wave | Уровень риск / Risk level | Суммарный уровень риска / Total risk level |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| Дети / Children                                     | Болезни органов дыхания / Diseases of the respiratory system        | Хронический бронхит неуточненный / Unspecified chronic bronchitis                                         | $1,95 \times 10^{-6}$                                                                                                                                     | $2,32 \times 10^{-5}$                                                                                                                   | $2,44 \times 10^{-6}$     | $2,66 \times 10^{-6}$                      |
|                                                     |                                                                     | Хронический ларингит и ларинготрахеит / Chronic laryngitis and laryngotracheitis                          | $1,15 \times 10^{-6}$                                                                                                                                     | $1,37 \times 10^{-5}$                                                                                                                   | $2,19 \times 10^{-7}$     |                                            |
| Взрослые (трудоспособные) / Adults (of working age) | Болезни органов дыхания / Diseases of the respiratory system        | Хронический ринит, назофарингит и фарингит / Chronic rhinitis, nasopharyngitis and pharyngitis            | $1,23 \times 10^{-7}$                                                                                                                                     | $1,46 \times 10^{-6}$                                                                                                                   | $2,34 \times 10^{-8}$     | $2,34 \times 10^{-8}$                      |
|                                                     | Болезни системы кровообращения / Diseases of the circulatory system | Гипертензивная болезнь сердца / Hypertensive heart disease                                                | $4,46 \times 10^{-7}$                                                                                                                                     | $5,31 \times 10^{-6}$                                                                                                                   | $3,29 \times 10^{-7}$     |                                            |
|                                                     |                                                                     | Цереброваскулярные болезни / Cerebrovascular diseases                                                     | $3,98 \times 10^{-7}$                                                                                                                                     | $4,74 \times 10^{-6}$                                                                                                                   | $3,36 \times 10^{-7}$     |                                            |
| Старше трудоспособного / Elderly people             | Болезни органов дыхания / Diseases of the respiratory system        | Астма / Asthma                                                                                            | $1,44 \times 10^{-6}$                                                                                                                                     | $1,71 \times 10^{-5}$                                                                                                                   | $1,80 \times 10^{-6}$     | $1,81 \times 10^{-6}$                      |
|                                                     |                                                                     | Хронический ларингит и ларинготрахеит / Chronic laryngitis and laryngotracheitis                          | $6,94 \times 10^{-8}$                                                                                                                                     | $8,26 \times 10^{-7}$                                                                                                                   | $1,32 \times 10^{-8}$     |                                            |
|                                                     | Болезни системы кровообращения / Diseases of the circulatory system | Гипертензивная болезнь сердца / Hypertensive heart disease                                                | $7,16 \times 10^{-6}$                                                                                                                                     | $8,53 \times 10^{-5}$                                                                                                                   | $5,29 \times 10^{-6}$     | $1,03 \times 10^{-5}$                      |
|                                                     |                                                                     | Инсульт, не уточненный как кровоизлияние или инфаркт / Stroke, not specified as haemorrhage or infarction | $1,55 \times 10^{-8}$                                                                                                                                     | $1,84 \times 10^{-7}$                                                                                                                   | $1,31 \times 10^{-8}$     |                                            |
|                                                     |                                                                     | Ишемическая болезнь сердца / Ischaemic heart disease                                                      | $4,29 \times 10^{-6}$                                                                                                                                     | $5,10 \times 10^{-5}$                                                                                                                   | $3,83 \times 10^{-6}$     |                                            |
|                                                     |                                                                     | Остановка сердца / Cardiac arrest                                                                         | $7,74 \times 10^{-7}$                                                                                                                                     | $9,21 \times 10^{-6}$                                                                                                                   | $1,21 \times 10^{-6}$     |                                            |

риска как для взрослого населения трудоспособного возраста, так и для населения пенсионного возраста вносят болезни системы кровообращения (96,6 и 85,08 % соответственно). В связи с тем что анализ был проведен для одного метеофактора, интегрирование уровней риска на этапе апробации не проводилось.

По результатам расчета популяционных показателей установлено, что среди детского населения г. Перми число дополнительных случаев заболеваний, обусловленных болезнями органов дыхания (в рамках выделенных нозологических форм), в условиях волны тепла 2010 года составило 11 случаев. Число дополнительных случаев заболеваний по классу болезни органов дыхания среди взрослого населения трудоспособного и пенсионного возраста составило по 1 случаю, по классу болезни системы кровообращения – 2 и 14 случаев соответственно.

К основным неопределенностям результатов оценки риска целесообразно отнести экстраполяцию

результатов измерения величин метеорологических факторов на территорию в целом; неопределенности, связанные с предположением, что волна тепла оказывает негативное воздействие на здоровье круглогодично, в течение всего времени нахождения реципиентов риска на исследуемой территории; неопределенности, связанные с недостаточной полнотой базы данных о заболеваемости населения, так как использовались только данные об обращаемости населения за медицинской помощью в системе ОМС. Полученные результаты характеризуются средней степенью неопределенности.

**Обсуждение.** Предложенные методические подходы к оценке риска для здоровья населения развивают положения, изложенные в рамках МР 2.1.10.0057–12. В дополнение к существующим способам они позволяют провести количественную оценку индивидуальных уровней риска для здоровья населения, формирующегося в условиях влияния метеофакторов, с учетом тяжести вероятных ответов и осуществить их категорирование при

пожизненном воздействии; рассчитать суммарные и интегральные уровни риска, ассоциированные с одним или несколькими метеофакторами. Полученные результаты могут быть использованы для выделения приоритетных видов нарушений здоровья населения при планировании, разработке и реализации мероприятий по адаптации населения к климатическим изменениям и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения<sup>26</sup>.

По результатам апробации предлагаемых подходов рассчитаны уровни риска для здоровья населения в условиях волны тепла 2010 года, обусловленные болезнями органов дыхания и системы кровообращения, категорируемые как минимальные и допустимые (приемлемые). Они согласуются с ранее проведенными исследованиями. Так, в рамках ряда исследований Z. Xu и соавт., J. Gao и соавт. установлено увеличение риска респираторных заболеваний у детей в условиях волн тепла [17–19]. Это может быть связано с морфофункциональной незрелостью органов дыхания. У детей воздействие волн тепла может привести к обострению любого существующего хронического респираторного заболевания, что подтверждает биологическую правдоподобность полученных по результатам апробации результатов [20]. Влияние волн тепла на обострение хронических заболеваний легких у взрослого населения и населения старше трудоспособного возраста также подтверждается результатами ранее проведенных исследований [7, 11, 21]. Вместе с этим рядом авторов отмечается наличие сочетанного влияния химического загрязнения атмосферного воздуха и волн тепла, в том числе в условиях городских островов тепла [22–23]<sup>27</sup>. Сочетанное взаимодействие тепла и концентрации вредных веществ в воздухе приводит к обострениям хронических болезней легких, в том числе астме [24]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований по оценке риска для здоровья населения, обусловленного болезнями органов дыхания, в условиях сочетанного влияния волн тепла и химического загрязнения атмосферного воздуха. Методика расчета изложена в рамках работы П.З. Шура с соавт. и апробирована на примере оценки риска, обусловленного болезнями системы кровообращения, в условиях сочетанного влияния волн тепла и оксида углерода. Вклад волны тепла в формирование уровня риска составил до 92,44 % [15].

Влияние волн тепла на увеличение заболеваемости и смертности по классам болезней системы кровообращения, в том числе инсульта и cerebrovascular заболеваний, подтверждается большим количеством исследований [1, 5–6, 21, 25].

Рассчитанные уровни риска в соответствии с предлагаемой в рамках разработанных методических подходов шкалой категорируются как минимальные для детского населения и населения трудоспособного возраста, а для населения старше трудоспособного возраста – как допустимые

(приемлемые), однако данная шкала разработана для оценки влияния фактора в течение всей жизни, то есть полученные результаты необходимо интерпретировать как величину риска для здоровья населения, в условиях влияния одной волны тепла в течение всей жизни. Установленные значения уровней риска при их ранжировании могут быть использованы для выделения чувствительных групп населения; установления приоритетных органов и систем, подверженных наибольшему влиянию анализируемых метеофакторов; выделению наиболее опасных метеофакторов с позиции влияния на здоровье населения. В рамках дальнейших исследований целесообразно провести оценку риска для здоровья населения, обусловленного влиянием ансамблей волн тепла, что позволит спрогнозировать бремя болезней, в том числе в соответствии со сценариями изменения климата.

Получаемые количественные показатели риска могут быть использованы для задач оценки и прогнозирования рисков нарушений здоровья населения, а также позволяют перейти к оценке экономического ущерба, что является актуальным при выборе стратегий адаптации населения к климатическим изменениям.

**Закключение.** Предложены методические подходы к оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеофакторов, включающие критерии выделения приоритетных показателей, описание видов экспозиции и формулы для расчета их уровней, расчета количественных величин уровней риска для здоровья населения с учетом тяжести ответов, оценку категорий риска с учетом их приемлемости, оценку неопределенностей результатов.

При апробации на примере волны тепла в г. Перми в 2010 г. установлено, что суммарный уровень риска для детского населения, обусловленный болезнями органов дыхания, в рамках выделенных нозологических форм составил  $2,66 \times 10^{-6}$  для взрослого населения трудоспособного возраста, обусловленный болезнями органов дыхания и болезнями системы кровообращения –  $2,34 \times 10^{-8}$  и  $6,66 \times 10^{-7}$  соответственно; для населения пенсионного возраста, обусловленный болезнями органов дыхания, –  $1,81 \times 10^{-6}$ , болезнями системы кровообращения –  $1,03 \times 10^{-5}$ . Рассчитанные суммарные уровни риска категорируются как минимальные и допустимые (приемлемые) в течение всей жизни. Основной вклад в формирование суммарного уровня риска вносят болезни системы кровообращения (96,6 и 85,08 % соответственно).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rocque RJ, Beaudoin C, Ndjaboue R, et al. Health effects of climate change: An overview of systematic reviews. *BMJ Open*. 2021;11(6):e046333. doi: 10.1136/bmjopen-2020-046333
2. Ревич Б.А., Григорьева Е.А. Риски здоровью Российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Волны жары и холода // Проблемы анализа риска. 2021.

<sup>26</sup> Отраслевой план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения на 2022 год. [Электронный ресурс.] Доступно по: <http://government.ru/docs/all/70631/> (дата обращения: 03.06.2024).

<sup>27</sup> Heat Island Impacts. Published 2023. Accessed June 5, 2024. <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-impacts>.

- T. 18. № 2. С. 12–33. doi: 10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
3. Beker BM, Cervellera C, Vito A De, Musso CG. Human physiology in extreme heat and cold. *Int Arch Clin Physiol*. 2018;1:001. doi: 10.23937/iacph-2017/1710001
4. Crimmins A, Balbus J, Gamble JL, et al, eds. *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC; 2016. Accessed June 10, 2024. <https://health2016.globalchange.gov/>
5. Ghanizadeh G, Heidari M, Seifi B, Jafari H, Pakjoui S. The effect of climate change on cardiopulmonary disease – A systematic review. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(12):IE01–IE04. doi: 10.7860/JCDR/2017/26478.11012
6. Rice MB, Thurston GD, Balmes JR, Pinkerton KE. Climate change. A global threat to cardiopulmonary health. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014;189(5):512–519. doi: 10.1164/rccm.201310-1924PP
7. Cheng J, Xu Z, Zhu R, et al. Impact of diurnal temperature range on human health: A systematic review. *Int J Biometeorol*. 2014;58(9):2011–2024. doi: 10.1007/s00484-014-0797-5
8. Хаснулин В.И., Гафаров В.В., Воевода М.И. и др. Влияние метеорологических факторов в различные сезоны года на частоту возникновения осложнений гипертонической болезни у жителей Новосибирска // Экология человека. 2015. № 7. С. 3–8.
9. Houck PD, Lethen JE, Riggs MW, Gantt DS, Dehmer GJ. Relation of atmospheric pressure changes and the occurrences of acute myocardial infarction and stroke. *Am J Cardiol*. 2005;96(1):45–51. doi: 10.1016/j.amjcard.2005.02.042
10. Boussoussou N, Boussoussou M, Entz L, Nemes A. Occurrence of acute cardiovascular diseases under different atmospheric parameters. *Orv Hetil*. 2014;155(27):1078–1082. (In Hungarian.) doi: 10.1556/oh.2014.29926
11. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р., Величковский Б.Т. Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде в высоких широтах // Журнал медико-биологических исследований. 2017. Т. 5. № 1. С. 25–36. doi: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25
12. Гудков А.Б., Попова О.Н. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов севера. Обзор литературы // Экология человека. 2012. Т. 19. № 1. С. 12–17. doi: 10.17816/humeco17513
13. Носков С.Н., Ступина О.М., Еремин Г.Б., Головина Е.Г., Исаев Д.С. Исследование взаимосвязи между вариациями природно-климатических факторов и заболеваемостью населения на выбранных территориях Российской Федерации // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 5. С. 7–14. doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-5-7-14
14. Zuo J, Pullen S, Palmer J, Bennetts H, Chileshe N, Ma T. Impacts of heat waves and corresponding measures: A review. *J Clean Prod*. 2015;92:1–12. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.078
15. Шур П.З., Хасанова А.А., Цинкер М.Ю., Зайцева Н.В. Методические подходы к оценке риска здоровью населения в условиях сочетанного воздействия климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферы // Анализ риска здоровью. 2023. № 2. С. 58–68. doi: 10.21668/health.risk/2023.2.05
16. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Волны жары и холода в городах, расположенных в Арктической и субарктической зонах как факторы риска повышения смертности населения на примере Архангельска, Мурманска и Якутска // Гигиена и санитария. 2018. Т. 9. № 97. С. 791–798. doi: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-791-798>
17. Xu Z, Crooks JL, Davies JM, Khan AF, Hu W, Tong S. The association between ambient temperature and childhood asthma: A systematic review. *Int J Biometeorol*. 2018;62(3):471–481. doi: 10.1007/s00484-017-1455-5
18. Xu Z, Sheffield PE, Su H, Wang X, Bi Y, Tong S. The impact of heat waves on children's health: A systematic review. *Int J Biometeorol*. 2014;58(2):239–247. doi: 10.1007/s00484-013-0655-x
19. Gao J, Sun Y, Lu Y, Li L. Impact of ambient humidity on child health: A systematic review. *PLoS One*. 2014;9(12):e112508. doi: 10.1371/journal.pone.0112508
20. Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, et al. Factors affecting in-hospital heat-related mortality: A multi-city case-crossover analysis. *J Epidemiol Community Health*. 2008;62(3):209–215. doi: 10.1136/jech.2007.060715
21. Bunker A, Wildenhain J, Vandenberg A, et al. Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*. 2016;6:258–268. doi: 10.1016/j.ebiom.2016.02.034
22. Leyva EWA, Beaman A, Davidson PM. Health impact of climate change in older people: An integrative review and implications for nursing. *J Nurs Scholarsh*. 2017;49(6):670–678. doi: 10.1111/jnu.12346
23. Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet*. 2019;394(10211):1836–1878. doi: 10.1016/S0140-6736(19)32596-6
24. Witt C, Schubert AJ, Jehn M, et al. The effects of climate change on patients with chronic lung disease. A systematic literature review. *Dtsch Arztebl Int*. 2015;112(51-52):878–883. doi: 10.3238/arztebl.2015.0878
25. Lian H, Ruan Y, Liang R, Liu X, Fan Z. Short-term effect of ambient temperature and the risk of stroke: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(8):9068–9088. doi: 10.3390/ijerph120809068

## REFERENCES

1. Rocque RJ, Beaudoin C, Ndjaboue R, et al. Health effects of climate change: An overview of systematic reviews. *BMJ Open*. 2021;11(6):e046333. doi: 10.1136/bmjopen-2020-046333
2. Revich BA, Grigorieva EA. Health risks to the Russian population from weather extremes in the beginning of the XXI century. Part 1. Heat and cold waves. *Problemy Analiza Riska*. 2021;18(2):12–33. (In Russ.) doi: 10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
3. Beker BM, Cervellera C, Vito A De, Musso CG. Human physiology in extreme heat and cold. *Int Arch Clin Physiol*. 2018;1:001. doi: 10.23937/iacph-2017/1710001
4. Crimmins A, Balbus J, Gamble JL, et al, eds. *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC; 2016. Accessed June 10, 2024. <https://health2016.globalchange.gov/>
5. Ghanizadeh G, Heidari M, Seifi B, Jafari H, Pakjoui S. The effect of climate change on cardiopulmonary disease – A systematic review. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(12):IE01–IE04. doi: 10.7860/JCDR/2017/26478.11012
6. Rice MB, Thurston GD, Balmes JR, Pinkerton KE. Climate change. A global threat to cardiopulmonary health. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014;189(5):512–519. doi: 10.1164/rccm.201310-1924PP
7. Cheng J, Xu Z, Zhu R, et al. Impact of diurnal temperature range on human health: A systematic review. *Int J Biometeorol*. 2014;58(9):2011–2024. doi: 10.1007/s00484-014-0797-5
8. Hasnulin VI, Gafarov VV, Voevoda MI, Razumov EV, Artamonova MV. Influence of meteorological factors in different seasons on incidence of hypertensive disease complications in Novosibirsk residents. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2015;(7):3–8. (In Russ.)
9. Houck PD, Lethen JE, Riggs MW, Gantt DS, Dehmer GJ. Relation of atmospheric pressure changes and the occurrences of acute myocardial infarction and stroke. *Am J Cardiol*. 2005;96(1):45–51. doi: 10.1016/j.amjcard.2005.02.042
10. Boussoussou N, Boussoussou M, Entz L, Nemes A. Occurrence of acute cardiovascular diseases under different atmospheric parameters. *Orv Hetil*. 2014;155(27):1078–1082. (In Hungarian.) doi: 10.1556/oh.2014.29926
11. Solonin YuG, Boyko ER, Velichkovskiy BT. Physiological stress standards at manual labour in high latitudes. *Zhurnal Mediko-Biologicheskikh Issledovaniy*. 2017;5(1):25–36. (In Russ.) doi: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.25

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-8-7-17>  
Original Research Article

12. Gudkov AB, Popova ON, Lukmanova NB. Ecological-physiological characteristic of northern climatic factors. Literature review. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2012;(1):12-17. (In Russ.) doi: 10.17816/humeco17513
13. Noskov SN, Stupishina OM, Yerebin GB, Golovina EG, Isaev DS. Investigation of the relationship between fluctuations in natural and climatic factors and incidence rates in selected territories of the Russian Federation. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(5):7-14. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-5-7-14
14. Zuo J, Pullen S, Palmer J, Bennetts H, Chileshe N, Ma T. Impacts of heat waves and corresponding measures: A review. *J Clean Prod*. 2015;92:1-12. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.078
15. Shur PZ, Khasanova AA, Tsinker MYu, Zaitseva NV. Methodical approaches to assessing public health risks under combined exposure to climatic factors and chemical air pollution caused by them. *Health Risk Analysis*. 2023;(2):58-68. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2023.2.05.eng
16. Revich BA, Shaposhnikov DA, Anisimov OA, Belolutskaya MA. Heat waves and cold spells in three arctic and subarctic cities as mortality risk factors. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(9):791-798. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2018-97-9-791-798
17. Xu Z, Crooks JL, Davies JM, Khan AF, Hu W, Tong S. The association between ambient temperature and childhood asthma: A systematic review. *Int J Biometeorol*. 2018;62(3):471-481. doi: 10.1007/s00484-017-1455-5
18. Xu Z, Sheffield PE, Su H, Wang X, Bi Y, Tong S. The impact of heat waves on children's health: A systematic review. *Int J Biometeorol*. 2014;58(2):239-247. doi: 10.1007/s00484-013-0655-x
19. Gao J, Sun Y, Lu Y, Li L. Impact of ambient humidity on child health: A systematic review. *PloS One*. 2014;9(12):e112508. doi: 10.1371/journal.pone.0112508
20. Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, et al. Factors affecting in-hospital heat-related mortality: A multi-city case-crossover analysis. *J Epidemiol Community Health*. 2008;62(3):209-215. doi: 10.1136/jech.2007.060715
21. Bunker A, Wildenhain J, Vandenberg A, et al. Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*. 2016;6:258-268. doi: 10.1016/j.ebiom.2016.02.034
22. Leyva EWA, Beaman A, Davidson PM. Health impact of climate change in older people: An integrative review and implications for nursing. *J Nurs Scholarsh*. 2017;49(6):670-678. doi: 10.1111/jnu.12346
23. Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet*. 2019;394(10211):1836-1878. doi: 10.1016/S0140-6736(19)32596-6
24. Witt C, Schubert AJ, Jehn M, et al. The effects of climate change on patients with chronic lung disease. A systematic literature review. *Dtsch Arztebl Int*. 2015;112(51-52):878-883. doi: 10.3238/arztebl.2015.0878
25. Lian H, Ruan Y, Liang R, Liu X, Fan Z. Short-term effect of ambient temperature and the risk of stroke: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(8):9068-9088. doi: 10.3390/ijerph120809068

#### Сведения об авторах:

**Шур Павел Залманович** – д.м.н.; ученый секретарь, главный научный сотрудник; e-mail: shur@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>.

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, д.м.н., профессор, научный руководитель; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

✉ **Хасанова Анна Алексеевна** – научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья; e-mail: KhasanovaAA@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>.

**Хрущева Екатерина Вячеславовна** – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией методов управления рисками; e-mail: khrushcheva@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-8993>.

**Цинкер Михаил Юрьевич** – младший научный сотрудник лаборатории ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления; e-mail: cinker@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>.

**Информация о вкладе авторов:** концепция и дизайн исследования: Шур П.З., Зайцева Н.В., Хасанова А.А.; сбор данных: Хасанова А.А.; анализ и интерпретация результатов: Хасанова А.А., Хрущева Е.В., Цинкер М.Ю.; обзор литературы: Хасанова А.А.; подготовка проекта рукописи: Шур П.З., Зайцева Н.В., Хасанова А.А., Хрущева Е.В. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Соблюдение этических стандартов:** исследование не требует заключения этического комитета.

**Финансирование:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** Зайцева Нина Владимировна является членом редакционной коллегии журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 18.06.24 / Принята к публикации: 12.08.24 / Опубликовано: 30.08.24

#### Author information:

**Pavel Z. Shur**, Dr. Sci. (Med.); Secretary of the Academic Council, Chief Researcher; e-mail: shur@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>.

**Nina V. Zaitseva**, RAS Academician, Professor, Dr. Sci. (Med.); Scientific Director; e-mail: znv@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>.

✉ **Anna A. Khasanova**, Researcher, Health Risk Analysis Department; e-mail: KhasanovaAA@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>.

**Ekaterina V. Khrushcheva**, Senior Researcher, Head of the Risk Management Methods and Technologies Laboratory; e-mail: khrushcheva@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-8993>.

**Mikhail Yu. Tsinker**, Junior Researcher, Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory; e-mail: cinker@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>.

**Author contributions:** study concept and design: Shur P.Z., Zaitseva N.V., Khasanova A.A.; data collection: Khasanova A.A.; analysis and interpretation of results: Khasanova A.A., Khrushcheva E.V., Tsinker M.Yu.; bibliography compilation and referencing: Khasanova A.A.; draft manuscript preparation: Shur P.Z., Zaitseva N.V., Khasanova A.A., Khrushcheva E.V. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

**Compliance with ethical standards:** Not applicable.

**Funding:** This research received no external funding.

**Conflict of interest:** Prof. Zaitseva is a member of the editorial board of the journal *Public Health and Life Environment*; other authors have no conflicts of interest to declare.

Received: June 18, 2024 / Accepted: August 12, 2024 / Published: August 30, 2024