

Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ОБУСЛОВЛЕННОГО ИМИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

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

Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Происходящие изменения климата способствуют формированию рисков для здоровья населения. Они могут быть обусловлены как его непосредственным воздействием, так и модифицирующим влиянием климатических факторов на концентрации химических веществ в атмосферном воздухе. В связи с этим целесообразно разработать методические подходы, позволяющие количественно оценить уровни риска для здоровья населения, формирующиеся в условиях сочетанного влияния климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

Предложены методические подходы, позволяющие провести расчет, категорирование и оценку приемлемости уровней риска для здоровья населения в условиях воздействия климатических факторов с учетом их влияния на химическое загрязнение воздуха. Они включают в себя подходы к установлению приоритетных климатических факторов, расчету их экспозиции и ассоциированных с ними ответов; определению перечня химических веществ, концентрации которых подвержены влиянию климатических факторов, и вероятных ответов со стороны здоровья населения, обусловленных их воздействием; установлению концентраций химических веществ, ассоциированных с влиянием климатического фактора; расчету и категорированию уровней риска для здоровья населения, ассоциированных с сочетанным воздействием климатических и химических факторов с использованием множественной логистической регрессионной модели.

При апробации на примере территории г. Перми в 2020 г. установлен неприемлемый уровень риска для взрослого населения трудоспособного возраста ($1,11 \cdot 10^{-4}$), обусловленный цереброваскулярными болезнями (I60–I69), ассоциированным с сочетанным воздействием климатических факторов в виде волн тепла и обусловленного ими химического загрязнения атмосферы оксидом углерода. Уровни риска для взрослого населения трудоспособного и старше трудоспособного возраста, обусловленные болезнями системы кровообращения (ишемическая болезнь сердца (I20–I25) и другие нарушения сердечного ритма (I49)), категоризируются как допустимые (приемлемые) – $7,68 \cdot 10^{-5}$ и $4,07 \cdot 10^{-5}$ соответственно. Вклад климатического фактора (волны тепла) составил от 76,24 до 92,44 %, химического фактора (оксид углерода) – от 7,56 до 23,76 %.

Ключевые слова: климат, климатические факторы, химическое загрязнение атмосферы, оценка риска здоровью населения, количественные критерии, волна тепла, оксид углерода, многофакторные модели.

Климат и климатические факторы являются одними из ведущих факторов окружающей среды, во многом определяющих комфортность условий проживания человека, образ его занятий, а также

оказывая непосредственное влияние на жизнедеятельность, работоспособность и социальную активность [1, 2]. Изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI в. [3].

© Шур П.З., Хасанова А.А., Цинкер М.Ю., Зайцева Н.В., 2023

Шур Павел Залманович – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник – ученый секретарь (e-mail: shur@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

Хасанова Анна Алексеевна – научный сотрудник отдела анализа риска для здоровья (e-mail: KhasanovaAA@inbox.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>).

Цинкер Михаил Юрьевич – младший научный сотрудник лаборатории ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: cinker@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Многие наблюдаемые изменения происходят на протяжении десятилетий, а их скорость в течение последних лет вызывает обеспокоенность и, несомненно, отражается на жизни людей всех регионов планеты [4, 5].

По данным Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 г., температура воздуха выше климатической нормы наблюдалась практически на всей территории страны. Такие температурные условия в среднем за год сложились при экстремально теплом лете и холодной зиме [6, 7].

Изменения климата многообразны и проявляются, в частности, в изменении частоты и интенсивности климатических аномалий и экстремальных погодных явлений, являющихся прямым следствием общего роста температуры¹. К ним можно отнести тепловые волны и возгорание торфяников в центрально-европейской части России в 2003 г., жару и масштабные лесные пожары в 2010 г., засуху в сельскохозяйственных районах страны летом 2010 и 2012 гг. и др. [8].

В соответствии с Распоряжением Президента Российской Федерации от 17.12.2009 г. № 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации» к отрицательным последствиям ожидаемых изменений климата относится увеличение риска для здоровья населения (увеличение уровня заболеваемости и смертности)². Это связано с тем, что климатические факторы способны оказывать влияние на изменение распространенности и характера заболеваний, в том числе, неинфекционных. Например, крайне высокая температура атмосферного воздуха (волны тепла) может приводить к обострению заболеваний сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, заболеваний почек, нервной системы, а также увеличению смертности от заболеваний сердечно-сосудистой системы и органов дыхания, особенно среди пожилых людей [5, 9–11].

Последствия изменения климата могут способствовать развитию широкого спектра рисков для здоровья человека. Наряду с эффектами прямого действия климатических факторов они могут оказывать влияние на изменение состава и концентраций химических веществ в атмосферном воздухе [12]. В качестве вероятных механизмов можно выделить влияние изменения температуры атмосферного воздуха на скорость протекания химических реакций, влажности воздуха – на образование и разрушение химических соединений, облачности – на состав атмосферы, приземной температуры и осадков – на выбросы и осаждение химиче-

ских соединений, изменения интенсивности приземного ветра над континентом – на подвижность пылевых частиц в засушливых районах и, следовательно, аэрозольную нагрузку в тропосфере и др. [13–15]. Например, волны тепла, помимо прямого влияния на здоровье населения, могут быть причиной кратковременных изменений загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота, оксидом углерода, взвешенными веществами, диоксидом серы и др. [5, 16–19].

Климатические параметры подвержены большой изменчивости как во времени, так и в пространстве, что обеспечивает условия переноса, трансформации, накопления и рассеивания загрязняющих веществ [20].

По данным ВОЗ, в условиях будущих изменений климата эпизоды загрязнения воздуха могут стать более частыми и более острыми [21].

Глобальное изменение климата создает для Российской Федерации (с учетом размеров ее территории, географического положения, исключительно разнообразия климатических условий и др.) ситуацию, которая предполагает необходимость заблаговременного формирования всеобъемлющего и взвешенного подхода государства к проблемам климата на основе комплексного научного анализа ряда факторов и выдвигает проблему глобального изменения климата в ее национальном и международном измерениях в число приоритетов политики Российской Федерации [22]³.

Таким образом, происходящие климатические изменения способны оказывать влияние на здоровье населения, обусловленное как непосредственным влиянием климатических факторов, так и модификацией химического загрязнения атмосферного воздуха. Для создания условий сохранения здоровья населения необходима оценка риска для здоровья, позволяющая совместно охарактеризовать риск в условиях совместного влияния климатических изменений и обусловленного ими изменения химического загрязнения атмосферного воздуха.

Цель исследования – разработка методических подходов к оценке риска для здоровья населения в условиях сочетанного воздействия климатических факторов с учетом их влияния на химическое загрязнение атмосферного воздуха.

Материалы и методы. В качестве методического базиса при разработке подходов к оценке риска здоровью населения, формирующегося в условиях совместного влияния климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, были использованы основные по-

¹ Климатическая доктрина Российской Федерации [Электронный ресурс] // Президент России: официальный сетевой ресурс. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/6365> (дата обращения: 03.03.2023).

² О климатической доктрине Российской Федерации: Распоряжение Президента Российской Федерации от 17.12.2009 № 861-рп [Электронный ресурс] // Правительство России. – URL: <http://government.ru/docs/all/70631/> (дата обращения: 03.03.2023).

³ Там же.

ложения 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»⁴ и Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»⁵.

Апробация предлагаемых методических подходов была проведена на примере оценки риска здоровью населения, формирующегося в условиях влияния климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха г. Перми в 2020 г.

В качестве анализируемых климатических факторов была выбрана температура атмосферного воздуха (волны тепла). В качестве исходной информации по климатическим параметрам были использованы данные по показателю средней за сутки температуры атмосферного воздуха (°С) для г. Перми за 2010–2020 гг., которые были получены из Единого государственного фонда данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды⁶.

Для достижения поставленной цели были рассчитаны периоды, относящиеся к волнам тепла в соответствии с методикой, изложенной в МР 2.1.10.0057-12⁴. В качестве порога действия для данного фактора были использованы критерии волны тепла.

В качестве исходных данных по заболеваемости населения использовались деперсонифицированные показатели территориального фонда обязательного медицинского страхования (ТФОМС) о посуточном количестве обратившихся за медицинской помощью и застрахованных в г. Перми за 2010–2020 гг. в разрезе возрастных групп (трудоспособные, старше трудоспособного) по классу болезни системы кровообращения, выделенным нозологическим формам.

Установление климатических факторов, способных оказывать влияние на увеличение содержания химических веществ в атмосферном воздухе, и списка химических веществ, содержание которых может изменяться под влиянием климатических факторов, было проведено по данным анализа релевантных источников литературы. Проанализировано около 50 источников литературы, в том числе входящих в базы данных WoS и Scopus.

В качестве исходных данных о среднесуточных концентрациях химических веществ в атмосферном воздухе на территории г. Перми за 2010–2020 гг. были использованы материалы, полученные от Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю.

Для расчета уровней риска, ассоциированных с действием волн тепла и оксида углерода, была рассчитана дополнительная вероятность заболеваемости взрослого населения трудоспособного и старше трудоспособного возраста. В основе расчета лежала множественная логистическая регрессионная модель зависимости суточной заболеваемости населения по указанным причинам от сочетанного влияния волн тепла и дополнительных концентраций оксида углерода, обусловленных их воздействием (формула). В качестве X_1 использована дополнительная суточная концентрация оксида углерода, обусловленная волнами тепла, а X_2 – разница температуры воздуха в дни с волнами тепла и днями без волн.

Расчет уровней риска выполнялся как произведение дополнительной вероятности заболеваемости, ассоциированной с действием волн тепла (количество дней, входящих в волну, за 2020 г.), и средне-взвешенной тяжести заболеваний в разрезе классов болезней, используемых в качестве ответов. Тяжесть заболеваний определялась в соответствии с публикацией Всемирной организации здравоохранения WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019 [23].

Результаты и их обсуждение. Разработаны подходы к оценке рисков здоровью населения, формирующихся в условиях сочетанного воздействия климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха. Они включают в себя следующие этапы:

1. Установление приоритетных климатических факторов, которые могут стать причиной формирования риска для здоровья населения, и ассоциированных с ними ответов.
2. Расчет экспозиции климатических факторов.
3. Определение перечня химических веществ, концентрации которых подвержены влиянию климатических факторов, и вероятных ответов со стороны здоровья населения, обусловленных их влиянием.

⁴ 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 / утв. и введ. в действие Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 17 января 2012 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 48 с.

⁵ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

⁶ Специализированные массивы для климатических исследований [Электронный ресурс] // ВНИИГМИ-МЦД. – URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (дата обращения: 15.10.2022).

4. Установление концентраций химических веществ, ассоциированных с влиянием климатического фактора.

5. Расчет и категорирование уровней риска для здоровья населения, формируемых при совместном воздействии климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха с использованием множественной логистической регрессионной модели.

1. Установление приоритетных климатических факторов, которые могут стать причиной формирования риска для здоровья населения, и ассоциированных с ними ответов. Фактор считается приоритетным для анализируемой территории, если значения величин определяющих его показателей достоверно отличаются от средних значений величин, характерных для данной территории за анализируемый период времени, или выходят за пределы установленных диапазонов комфорта или пороговых уровней.

В качестве порогового уровня / границы диапазона комфорта рассматриваются величины, характеризующие значение экспозиции климатического фактора, которое, вероятно, не приводит к возникновению неблагоприятных эффектов для здоровья населения, ассоциированных с влиянием данного фактора. Его определение осуществляется на основе количественных параметров зависимости между величинами экспозиции климатических факторов и распространенности ассоциированных заболеваний, которые могут быть установлены по данным анализа литературных данных или с использованием методов математического моделирования.

Для определения перечня ответов со стороны здоровья населения, обусловленных влиянием выделенных климатических факторов, проводится анализ научной литературы на наличие достоверных причинно-следственных связей, характеризующих существование потенциальной опасности для здоровья человека, обусловленной влиянием анализируемых климатических показателей. Могут быть использованы как показатели, характеризующие влияние отдельных метеорологических элементов, так и показатели комплексного воздействия нескольких климатических факторов (например, биоклиматические индексы – эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), нормальная эквивалентно-эффективная температура (НЭЭТ), радиационная эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ), биологически активная температура (БАТ) и др.).

2. Расчет экспозиции климатических факторов. Особенностью расчета экспозиции климатических факторов является то, что в качестве экспо-

зиции принимается не все время воздействия, а только те периоды, во время которых значения показателей климатических факторов выходили за пределы пороговых уровней или диапазонов, в рамках которых, вероятно, не происходит влияния на здоровье населения. Кроме того, в ряде случаев определяется величина превышения показателя по отношению к пороговому уровню или отклонению от установленного диапазона (в °С, мм рт. ст., единицах индекса и др.).

3. Определение перечня химических веществ, концентрации которых подвержены влиянию климатических факторов, и вероятных ответов со стороны здоровья населения, обусловленных их влиянием. Первоначально проводится установление климатических факторов характерных для анализируемой территории, которые потенциально способны приводить к увеличению концентраций химических веществ в атмосферном воздухе, и перечня данных веществ. Кроме того, для данных факторов устанавливаются диапазоны / пороги действия данных, за пределами которых, по данным анализа литературы, они не оказывают влияния.

Если фактические значения величин климатического фактора на анализируемой территории достоверно отличаются от средних значений величин, характерных для данной территории за анализируемый период времени, или выходят за пределы установленных диапазонов / порогов действия, то на данной территории они способны оказывать потенциальное влияние на увеличение концентраций химических веществ. В связи с этим в итоговый перечень химических веществ включаются только те, концентрации которых изменяются под влиянием климатических факторов, значения которых на данной территории выходят за пределы установленных диапазонов / порогов определяющих их показателей.

Установление ответов со стороны здоровья населения, обусловленных влиянием выделенных химических веществ, может быть проведено как на основе Р 2.1.10.1920-04⁷, так и по результатам анализа данных научной литературы.

4. Установление концентраций химических веществ, ассоциированных с влиянием климатического фактора. Устанавливается анализируемый временной период, который будет включать в себя те дни / недели / месяцы, в течение которых наблюдались изменения климатических факторов и их показателей, способных привести к увеличению концентраций химических веществ в атмосферном воздухе («неблагоприятные периоды»), и периоды, во время которых, вероятно, не происходит влияния на концентрации химических веществ («благопри-

⁷ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

ятные периоды)). Определяются фактические концентрации химических веществ, входящих в перечень веществ, установленных на предыдущем этапе, для каждого из дней, входящих в «неблагоприятные» и «благоприятные» периоды. Разница между концентрациями химических веществ в те дни, которые относятся к «неблагоприятным» и «благоприятным» периодам, рассматривается в качестве концентрации, обусловленной влиянием климатических факторов.

5. Расчет и категорирование уровней риска для здоровья населения, формируемых при совместном воздействии климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха с использованием множественной логистической регрессионной модели. Расчет уровней риска заболеваемости населения представляет собой произведение дополнительной вероятности заболеваемости, ассоциированной с действием климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, и средневзвешенной тяжести заболеваний в разрезе классов болезней, используемых в качестве ответов.

Дополнительная вероятность заболевания, ассоциированная с сочетанным действием климатических и химических факторов, рассчитывается на основе моделирования причинно-следственных связей с использованием множественного регрессионного анализа.

Общий вид может быть представлен множественной логистической регрессионной моделью:

$$\Delta p = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2)}},$$

где Δp – дополнительная вероятность заболевания, ассоциированная с совместным воздействием факторов X_1 и X_2 ;

X_1, X_2 – показатели, характеризующие уровень экспозиции климатических и химических факторов;

b_0, b_1, b_2 – параметры математической модели.

Все модели должны проходить проверку на статистическую значимость установленных связей ($p < 0,05$) и экспертную оценку соответствия медико-биологическим представлениям.

В качестве вводных параметров используются уровни экспозиции климатических факторов, концентрации химических веществ, обусловленных влиянием климатических факторов, и заболеваемость населения. Используемые данные должны обладать однородной пространственной и временной детализацией.

При построении математических моделей используются данные о заболеваемости в разрезе классов болезней или нозологических форм, на которые оказывают совместное влияние и климатиче-

ский фактор, и химические вещества, подверженные влиянию климатических факторов.

Для категорирования рассчитанных уровней риска предлагается следующая их классификация: $1,0 \cdot 10^{-6}$ и менее – минимальный уровень риска; $1,1 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$ – допустимый (приемлемый) уровень риска; $1,1 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3}$ – настораживающий уровень риска; $> 10^{-3}$ – высокий уровень риска. Настораживающий и высокий уровни риска характеризуются как неприемлемые, при установлении которых целесообразно рекомендовать разработку мер по предупреждению нарушений и созданию условий сохранения здоровья населения. При этом они должны быть направлены на те органы и системы, для которых были установлены неприемлемые уровни риска [24].

На данном этапе также может быть проведено определение вкладов химических и климатических факторов в формируемые уровни риска для здоровья населения.

Таким образом, предлагаемые методические подходы позволяют провести расчет и категорирование количественных уровней риска для здоровья населения в условиях сочетанного воздействия климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

Температура атмосферного воздуха является одним из ведущих климатических факторов, влияющих на здоровье человека. По данным Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 г., температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны [7]. Прямым следствием общего роста температуры является изменение частоты и интенсивности климатических аномалий и экстремальных погодных явлений, в том числе волн тепла [16, 17, 21, 25]⁸.

Рассчитано, что для г. Перми средняя температура, определяемая для данной территории как волна жары, составляет $27,5$ °С. Данное значение может быть использовано в качестве экспозиции, которая, вероятно, не приводит к возникновению неблагоприятных эффектов для здоровья населения, обусловленных влиянием волн тепла. Определено, что с 2010 по 2020 г. на анализируемой территории наблюдалось девять волн тепла, что обуславливает актуальность данного фактора для анализируемой территории.

В качестве ответов со стороны здоровья населения в условиях влияния волн тепла, по данным анализа литературы, использованы болезни системы кровообращения, а именно – болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением (I10–I15), ишемическая болезнь сердца (I20–I25), другие болезни сердца (I49–I50) и цереброваскулярные болезни (I60–I64) [11, 26–30].

⁸ Климатическая доктрина Российской Федерации [Электронный ресурс] // Президент России: официальный сетевой ресурс. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/6365> (дата обращения: 03.03.2023).

Установлено, что наиболее чувствительными группами населения будут являться взрослое население трудоспособного и старше трудоспособного возраста [11, 28].

На этапе расчета экспозиции климатических факторов установлено, что в 2020 г. на территории г. Перми наблюдались две волны тепла – с 8.07 по 12.07 (пять дней) и с 14.07 по 16.07 (три дня). Посуточные превышения температуры над пороговым значением, определяющим для данной территории границы волны тепла (27,5 °С), составили от 1,0 до 3,6 °С.

Волны тепла в г. Перми могут привести к увеличению концентраций диоксида азота, оксида углерода, взвешенных веществ и серы диоксида⁹ [5, 18, 19].

В качестве вероятных ответов, в соответствии с Р 2.1.10.1920-04, для диоксида азота, взвешенных веществ и серы диоксида использованы органы дыхания, а для оксида углерода – сердечно-сосудистая система и процессы развития.

С использованием фактических концентраций анализируемых химических веществ рассчитано, что температура атмосферного воздуха в условиях волн тепла на анализируемой территории привела к увеличению среднесуточных концентраций азота диоксида (концентрация составила 0,03 мг/м³ в стандартных условиях и 0,04 мг/м³ – в условиях волн тепла), оксида углерода (1,11 и 1,83 мг/м³ соответственно) и взвешенных веществ (0,13 и 0,16 мг/м³ соответственно). Концентрации диоксида серы не изменились. Концентрации химических веществ в условиях волн тепла превышали ПДК_{сс} только для взвешенных веществ на 0,1 ПДК_{сс}. Дополнительные концентрации, обусловленные волнами тепла, составили для азота диоксида 0,01 мг/м³ (0,1 ПДК_{сс}), оксида углерода – 0,72 мг/м³ (0,2 ПДК_{сс}), взвешенных веществ – 0,03 мг/м³ (0,2 ПДК_{сс})¹⁰.

В качестве ответов, обусловленных совместным влиянием климатических факторов, и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Перми использованы болезни системы кровообращения, ассоциированные с влиянием волн тепла и оксида углерода.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа приведены в табл. 1 (b_0 , b_1 и b_2 – параметры модели, R^2 – коэффициент детерминации). Отобраны только статистически значимые связи ($p < 0,05$).

Установлены достоверные зависимости совместного действия волн тепла и оксида углерода и развития заболеваний по группам нозологических форм «ишемическая болезнь сердца» (I20–I25) и «цереброваскулярные болезни» (I60–I69) для населения трудоспособного возраста, а также для населения старше трудоспособного возраста для нозологической формы «другие нарушения сердечного ритма» (I49).

Биологическое правдоподобие полученных моделей подтверждается особенностями механизмов влияния волн тепла и оксида углерода на сердечно-сосудистую систему. При гипертермических состояниях вследствие влияния волн тепла возникает гипотония, обусловленная расширением кровеносных сосудов. Снижение давления способствует компенсаторной тахикардии, что приводит к перенапряжению сердечно-сосудистой системы в результате гипердинамичности кровообращения [11]. Ведущим звеном в патогенезе острого действия оксида углерода является нарушение кислородтранспортной функции гемоглобина и связанное с этим развитие гемической и тканевой гипоксии, которые усугубляются в результате гипердинамичного кровообращения, вызванного волнами тепла. Наиболее подвержены его влиянию ткани головного мозга и сердца, что подтверждается результатами моделирования [31].

Таблица 1

Параметры статистически значимых множественных логистических регрессионных моделей ($p < 0,05$)

| Возрастная группа | Класс болезней по МКБ-10 | b_0 | b_1 | b_2 | R^2 |
|--|---|--------|-------|-------|-------|
| Взрослое население трудоспособного возраста | Ишемическая болезнь сердца (I20–I25) | -13,78 | 0,19 | 0,22 | 0,2 |
| | Цереброваскулярные болезни (I60–I69) | -11,84 | 0,01 | 0,11 | 0,1 |
| Взрослое население старше трудоспособного возраста | Другие нарушения сердечного ритма (I49) | -15,66 | 0,48 | 0,3 | 0,2 |

⁹ 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 / утв. и введ. в действие Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 17 января 2012 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 48 с.

¹⁰ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2; введ. в действие 01.03.2021 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 15.02.2023).

Уровни риска для здоровья населения г. Перми, ассоциированные с сочетанным влиянием волн тепла и химическим загрязнением атмосферного воздуха оксидом углерода

| Возрастная группа | Ответ | Дополнительная вероятность заболеваемости (в сутки в условиях волны тепла) | Уровень риска (за один день в условиях волны тепла) | Уровень риска для населения г. Перми, обусловленный волнами тепла в 2020 г. | Вклад фактора, % | |
|--|---|--|---|---|------------------|----------------|
| | | | | | волны тепла | оксид углерода |
| Взрослое население трудоспособного возраста | Ишемическая болезнь сердца (I20–I25) | $1,66 \cdot 10^{-5}$ | $9,59 \cdot 10^{-6}$ | $7,68 \cdot 10^{-5}$ | 88,35 | 11,65 |
| | Цереброваскулярные болезни (I60–I69) | $2,40 \cdot 10^{-5}$ | $1,39 \cdot 10^{-5}$ | $1,11 \cdot 10^{-4}$ | 76,24 | 23,76 |
| Взрослое население старше трудоспособного возраста | Другие нарушения сердечного ритма (I49) | $8,81 \cdot 10^{-6}$ | $5,09 \cdot 10^{-6}$ | $4,07 \cdot 10^{-5}$ | 92,44 | 7,56 |

Дополнительная вероятность заболеваемости, обусловленная совместным влиянием волн тепла и оксида углерода, для взрослого населения трудоспособного возраста г. Перми по группе нозологических форм «ишемическая болезнь сердца» (I20–I25) составляет $1,66 \cdot 10^{-5}$, «цереброваскулярные болезни» (I60–I69) – $2,40 \cdot 10^{-5}$, а для населения старше трудоспособного возраста для нозологической формы «другие нарушения сердечного ритма» (I49) – $8,81 \cdot 10^{-6}$ (табл. 2).

Уровни риска развития заболеваний по классу болезней системы кровообращения в рамках выделенных нозологических форм для взрослого населения трудоспособного возраста составили $7,68 \cdot 10^{-5}$ (I20–I25) и $1,11 \cdot 10^{-4}$ (I60–I69), что категоризируется как допустимый (приемлемый) и нестораживающий (неприемлемый) уровни риска соответственно. Для населения старше трудоспособного возраста уровень риска составил $4,07 \cdot 10^{-5}$ (I49), что категоризируется как допустимый (приемлемый) уровень риска.

Вклад волн тепла в развитие заболеваний в рамках группы нозологических форм «ишемическая болезнь сердца» (I20–I25) и «цереброваскулярные болезни» (I60–I69) составил 88,35 и 76,24 % соответственно, а оксида углерода – 11,65 и 23,76 % соответственно. Для населения старше трудоспособного возраста вклад климатического фактора в виде волн тепла в развитие болезней по нозологической форме «другие нарушения сердечного ритма» (I49) составил 92,44 %, а оксида углерода – 7,56 %. Это свидетельствует, что для населения г. Перми в 2020 г. наибольшее влияние на развитие данных нозологических форм оказывал климатический фактор.

Таким образом, при апробации предлагаемых подходов установлен неприемлемый уровень риска ($1,11 \cdot 10^{-4}$) для взрослого населения трудоспособного возраста, обусловленный цереброваскулярными болезнями (I60–I69), ассоциированный с сочетанным воздействием климатических

факторов в виде волн тепла и обусловленного ими химического загрязнения атмосферы оксидом углерода. Уровни риска для взрослого населения трудоспособного и старше трудоспособного возраста, обусловленные болезнями системы кровообращения в рамках выделенных нозологических форм (ишемическая болезнь сердца (I20–I25) и другие нарушения сердечного ритма (I49)), категоризируются как допустимые (приемлемые).

Выводы. Предложены методические подходы, позволяющие провести расчет, категорирование и оценку приемлемости количественных уровней риска для здоровья населения, формируемых в условиях сочетанного воздействия климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

Они включают в себя подходы к установлению приоритетных климатических факторов, которые могут стать причиной формирования риска для здоровья населения, и ассоциированных с ними ответов; расчету экспозиции климатических факторов; определению перечня химических веществ, концентрации которых подвержены влиянию климатических факторов, и вероятных ответов со стороны здоровья населения, обусловленных их влиянием; установлению концентраций химических веществ, ассоциированных с влиянием климатического фактора; расчету и категорированию уровней риска для здоровья населения, формируемых при совместном воздействии климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, с использованием множественной логистической регрессионной модели.

С применением данных подходов на примере г. Перми в 2020 г. установлен неприемлемый уровень риска ($1,11 \cdot 10^{-4}$) для взрослого населения трудоспособного возраста, обусловленный цереброваскулярными болезнями (I60–I69), ассоциированный с сочетанным воздействием климатических факторов в виде волн тепла и обусловленного ими химического загрязнения атмосферы оксидом углерода.

Уровни риска для взрослого населения трудоспособного и старше трудоспособного возраста, обусловленные болезнями системы кровообращения (ишемическая болезнь сердца (I20–I25) и другие нарушения сердечного ритма (I49)), категоризируются как допустимые (приемлемые) – $7,68 \cdot 10^{-5}$ и $4,07 \cdot 10^{-5}$ соответственно. Вклад климатического фактора

(волны тепла) составил от 76,24 до 92,44 %, химического фактора (оксид углерода) – от 7,56 до 23,76 %.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Системный анализ и синтез влияния динамики климато-экологических факторов на заболеваемость населения севера РФ / В.М. Еськов, А.Г. Назин, С.Н. Русак, О.Е. Филатова, К.А. Хадарцева // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. 15, № 1. – С. 26–29.
2. Zaitseva N., Chetverkina K., Khasanova A. Hazard identification of climate risk factors on health of the far north population // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2020. – Vienna, Austria, December 08–11, 2020. – Book 4.2. – Vol. 20. – P. 163–168. DOI: 10.5593/sgem2020V4.2/s06.20
3. Без сожалений: расширение масштабов деятельности ВОЗ по смягчению последствий изменения климата и его воздействию на здоровье людей в европейском регионе ВОЗ. Ключевые сообщения Рабочей группы по охране здоровья в условиях изменения климата [Электронный ресурс] // ВОЗ, Европейское бюро. – 2021. – URL: <https://www.who.int/europe/ru/publications/i/item/WHO-EURO-2021-3198-42956-60023> (дата обращения: 21.02.2023).
4. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Электронный ресурс]. – Geneva: IPCC, 2014. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (дата обращения: 15.03.2023).
5. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment [Электронный ресурс] / A. Crimmins, J.L. Balbus, C.B. Gamble, C.B. Beard, J.E. Bell, D. Dodgen, R.J. Eisen, N. Fann [et al.] // U.S. Global Change Research Program. – Washington, DC, 2016. – URL: <https://health2016.globalchange.gov/> (дата обращения: 15.03.2023).
6. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Научное издание «Технологии», 2022. – 124 с.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ), 2022. – 104 с.
8. Соколов Ю.И. Риски экстремальных погодных явлений // Проблемы анализа риска. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 6–21.
9. Влияние метеорологических факторов в различные сезоны года на частоту возникновения осложнений гипертонической болезни у жителей Новосибирска / В.И. Хаснулин, В.В. Гафаров, М.И. Воевода, Е.В. Разумов, М.В. Артамонова // Экология человека. – 2015. – № 7. – С. 3–8.
10. Влияние температуры воздуха на смертность населения Архангельска в 1999–2008 годах / Ж.Л. Варакина, Е.Д. Юрасова, Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, А.М. Вязьмин // Экология человека. – 2011. – № 6. – С. 28–36.
11. Human Physiology in Extreme Heat and Cold / В.М. Beker, C. Cervellera, A. De Vito, C.G. Musso // Int. Arch. Clin. Physiol. – 2018. – Vol. 1, № 1. – P. 1–8. DOI: 10.23937/iacph-2017/1710001
12. McMichael A.J., Lindgren E. Climate change: present and future risks to health, and necessary responses // J. Intern. Med. – 2011. – Vol. 270, № 5. – P. 401–413. DOI: 10.1111/j.1365-2796.2011.02415.x
13. Brasseur G.P. Implications of Climate Change for Air Quality [Электронный ресурс] // World Meteorological Organization (WMO). – URL: <https://public.wmo.int/en/bulletin/implications-climate-change-air-quality> (дата обращения: 18.02.2023).
14. Impact of climate change on the future chemical composition of the global troposphere / G.P. Brasseur, M. Schultz, C. Granier, M. Saunois, T. Diehl, M. Botzet [et al.] // J. Climate. – 2006. – Vol. 19, № 16. – P. 3932–3951. DOI: 10.1175/jcli3832.1
15. Бюллетень ВМО. Погода, климат и воздух, которым мы дышим [Электронный ресурс]. – 2009. – Т. 58, № 1. – URL: http://mgmtmo.ru/edumat/wmo/bulletin_58-1_ru.pdf (дата обращения: 08.02.2023).
16. Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений (1970–2019 гг.) // Всемирная метеорологическая организация. – 2021. – 90 с.
17. Стратегия адаптации к воздействию изменения климата на здоровье населения для Архангельской области и Ненецкого автономного округа Российской Федерации: монография / П.И. Сидоров, Л.И. Меньшикова, Р.В. Бузинов, А.М. Вязьмин, Г.Н. Дегтева, А.Л. Санников, Т.В. Балаева, В.П. Болтенков [и др.]. – Архангельск: ООО «Триада», 2012. – 98 с.
18. Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy / M. Stafoggia, J. Schwartz, F. Forastiere, C.A. Perucci, SISTI Group // Am. J. Epidemiol. – 2008. – Vol. 167, № 12. – P. 1476–1485. DOI: 10.1093/aje/kwn074
19. Акимов Л.М., Акимов Е.Л. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 4. – С. 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557
20. Оценка влияния комплекса метеопараметров на рассеивание выбросов от стационарных источников загрязнения на примере территории города Нижнекамска / И.Г. Григорьева, Ю.А. Тунакова, Р.А. Шагидуллина, В.С. Валиев, О.Н. Кузнецова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 15. – С. 268–270.

21. Изменение климата и здоровье [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2021. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (дата обращения: 18.03.2023).
22. Бринчук М.М. Стихийные бедствия как фактор адаптации общества к изменениям климата // Юридический вестник Дагестанского государственного университета. – 2020. – Т. 34, № 2. – С. 14–21. DOI: 10.21779/2224-0241-2020-34-2-14-21
23. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019 [Электронный ресурс] // WHO. – 2020. – URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghes2019_daly-methods.pdf?sfvrsn=31b25009_7 (дата обращения: 16.03.2023).
24. К оценке риска для здоровья населения, обусловленного влиянием климатических факторов в условиях Крайнего Севера / П.З. Шур, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалудинов, А.А. Хасанова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 53–62. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.04
25. Ревич Б.А., Григорьева Е.А. Риски здоровью Российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Часть 1. Волны жары и холода // Проблемы анализа риска. – 2021. – Т. 18, № 2. – С. 12–33. DOI: 10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
26. Жара и сердечно-сосудистые заболевания (обзор эпидемиологических исследований) / И.Л. Козловская, О.С. Булкина, В.В. Лопухова, Н.А. Чернова, О.В. Иванова, Т.Е. Колмакова, Ю.А. Карпов // Терапевтический архив. – 2015. – Т. 87, № 9. – С. 84–90. DOI: 10.17116/terarkh201587984-90
27. Kilbourne E.M. The spectrum of illness during heat waves // Am. J. Prev. Med. – 1999. – Vol. 16, № 4. – P. 359–360. DOI: 10.1016/s0749-3797(99)00016-1
28. Ревич Б.А. Волны жары в мегаполисах и пороги их воздействия на смертность населения // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1073–1078. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-11-1073-1078
29. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Excess mortality during heat waves and cold spells in Moscow, Russia // Occup. Environ. Med. – 2008. – Vol. 65, № 10. – P. 691–696. DOI: 10.1136/oem.2007.033944
30. Черных Д.А., Тасейко О.В. Оценка риска от температурных волн, влияющих на повышение уровня смертности населения г. Красноярск // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 2, № 13. – С. 678–680.
31. Toxicological profile for carbon monoxide. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012. – 347 p.

Методические подходы к оценке риска здоровью населения в условиях сочетанного воздействия климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферы / П.З. Шур, А.А. Хасанова, М.Ю. Цинкер, Н.В. Зайцева // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 2. – С. 58–68. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.05

UDC 613.1; 614

DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.05.eng



Research article

METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING PUBLIC HEALTH RISKS UNDER COMBINED EXPOSURE TO CLIMATIC FACTORS AND CHEMICAL AIR POLLUTION CAUSED BY THEM

P.Z. Shur, A.A. Khasanova, M.Yu. Tsinker, N.V. Zaitseva

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

The ongoing climate change makes its contribution to public health risks. These risks can be caused both due to direct impacts of the process and modifying influence exerted by climatic factors on chemical levels in ambient air. Given that, it is advisable to develop methodical approaches that give an opportunity to quantify public health risks under combined influence of climatic factors and chemical air pollution caused by them.

In this study, we suggest methodical approaches eligible for calculating, assigning a category and assessing acceptability of public health risks under climatic exposures considering their influence on chemical air pollution. We outline approaches to establishing priority climatic factors, calculating exposure levels and associated responses; making up a list of chemicals levels of which are influenced by climatic factors and probable health outcomes caused by exposure to them; identifying levels of chemicals associated with climatic influence; calculating and assigning a category for public health risks associated with combined exposure to climatic and chemical factors using a multiple logistic regression model.

We tested the approaches using data collected in Perm in 2020. As a result, we established an unacceptable health risk for working age population ($1.11 \cdot 10^{-4}$) due to cerebrovascular diseases (I60–I69). This risk was associated with combined exposure to climatic factors (heat waves) and associated chemical air pollution (high levels of carbon oxide). Risk levels for working age population and older age groups due to diseases of the circulatory system (ischaemic heart diseases (I20–I25) and other cardiac arrhythmias (I49)) were rated as permissible (acceptable), $7.68 \cdot 10^{-5}$ and $4.07 \cdot 10^{-5}$ accordingly. The contribution made by the analyzed climatic factor (heat waves) varied between 76.24 and 92.44 %; the analyzed chemical factor (carbon oxide), between 7.56 and 23.76 %.

Keywords: climate, climatic factors, chemical air pollution, public health risk assessment, quantitative indicators, heat wave, carbon oxide, multifactorial models.

References

1. Es'kov V.M., Nazin A.G., Rusak S.N., Filatova O.E., Khadartseva K.A. The system analysis and synthesis of influence of dynamics of climatic and ecological factors on disease of the population in North. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*, 2008, vol. 15, no. 1, pp. 26–29 (in Russian).
2. Zaitseva N., Chetverkina K., Khasanova A. Hazard identification of climate risk factors on health of the far north population. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2020*. Vienna, Austria, December 08–11, 2020, book 4.2, vol. 20, pp. 163–168. DOI: 10.5593/sgem2020V4.2/s06.20
3. Zero regrets: scaling up action on climate change mitigation and adaptation for health in the WHO European Region. Key messages from the Working Group on health in climate change. *WHO*, 2021. Available at: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2021-3198-42956-60023> (February 21, 2023).
4. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, IPCC, 2014. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (March 15, 2023).
5. Crimmins A., Balbus J.L., Gamble C.B., Beard C.B., Bell J.E., Dodgen D., Eisen R.J., Fann N. [et al.]. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. *U.S. Global Change Research Program*. Washington, DC, 2016. Available at: <https://health2016.globalchange.gov/> (March 15, 2023).
6. Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obsheche rezyume [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. Saint Petersburg, Naukoemkie tekhnologii, 2022, 124 p. (in Russian).
7. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2021 god [A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2021]. Moscow, Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET), 2022, 104 p. (in Russian).
8. Sokolov Yu.I. Riski ekstremal'nykh pogodnykh yavlenii [Risks of extreme weather events]. *Problemy analiza riska*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 6–21 (in Russian).
9. Khasnulin V.I., Gafarov V.V., Voevoda M.I., Razumov E.V., Artamonova M.V. Influence of meteorological factors in different seasons on incidence of hypertensive disease complications in Novosibirsk residents. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 7, pp. 3–8 (in Russian).
10. Varakina Zh.L., Yurasova E.D., Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Vyazmin A.M. Air temperature impact on mortality in Arkhangelsk in 1999–2008. *Ekologiya cheloveka*, 2011, no. 6, pp. 28–36 (in Russian).
11. Beker B.M., Cervellera C., De Vito A., Musso C.G. Human Physiology in Extreme Heat and Cold. *Int. Arch. Clin. Physiol.*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.23937/iacph-2017/1710001>
12. McMichael A.J., Lindgren E. Climate change: present and future risks to health, and necessary responses. *J. Intern. Med.*, 2011, vol. 270, no. 5, pp. 401–413. DOI: [10.1111/j.1365-2796.2011.02415.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2011.02415.x)
13. Brasseur G.P. Implications of Climate Change for Air Quality. *WMO*. Available at: <https://public.wmo.int/en/bulletin/implications-climate-change-air-quality> (February 18, 2023).
14. Brasseur G.P., Schultz M., Granier C., Saunoy M., Diehl T., Botzet M. [et al.]. Impact of climate change on the future chemical composition of the global troposphere. *J. Climate*, 2006, vol. 19, no. 16, pp. 3932–3951. DOI: [10.1175/jcli3832.1](https://doi.org/10.1175/jcli3832.1)
15. WMO Bulletin. Weather, Climate and the Air We Breathe, 2009, vol. 58, no. 1. Available at: http://mgmtmo.ru/edumat/wmo/bulletin_58-1_ru.pdf (February 8, 2023) (in Russian).
16. The Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2019). *WMO*, 2021, 90 p. (in Russian).

© Shur P.Z., Khasanova A.A., Tsinker M.Yu., Zaitseva N.V., 2023

Pavel Z. Shur – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher-Academic Secretary (e-mail: shur@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

Anna A. Khasanova – Researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: KhasanovaAA@inbox.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>).

Mikhail Yu. Tsinker – Junior Researcher at the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: cinkerm@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>).

Nina V. Zaitseva – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

17. Sidorov P.I., Men'shikova L.I., Buzinov R.V., Vyaz'min A.M., Degteva G.N., Sannikov A.L., Balaeva T.V., Boltenkov V.P. [et al.]. Strategiya adaptatsii k vozdeistviyu izmeneniya klimata na zdorov'e naseleniya dlya Arkhangel'skoi oblasti i Nenetskogo avtonomnogo okruga Rossiiskoi Federatsii [Strategy for adaptation to the impact of climate change on public health for the Arkhangelsk region and the Nenets Autonomous Area of the Russian Federation]. Arkhangel'sk, ООО «Triada», 2012, 98 p. (in Russian).

18. Stafoggia M., Schwartz J., Forastiere F., Perucci C.A., SISTI Group. Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy. *Am. J. Epidemiol.*, 2008, vol. 167, no. 12, pp. 1476–1485. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/kwn074>

19. Akimov L.M., Akimov E.L. Seasonal Dynamics and Spatial Distribution of Anthropogenic Pollutants Concentrations in the Air of Voronezh. *Regional'nye geosistemy*, 2021, vol. 45, no. 4, pp. 545–557 (in Russian).

20. Grigor'eva I.G., Tunakova Yu.A., Shagidullina R.A., Valiev V.S., Kuznetsova O.N. Otsenka vliyaniya kompleksa meteoroparametrov na rasseivanie vybrosov ot stacionarnykh istochnikov zagryazneniya na primere territorii goroda Nizhnekamska [Assessment of the impact of a set of meteorological parameters on the dispersion of emissions from stationary sources of pollution on the example of the territory of the city of Nizhnekamsk]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 15, pp. 268–270 (in Russian).

21. Climate change and health. WHO, 2021. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (March 18, 2023).

22. Brinchuk M.M. Natural disasters as a factor in society's adaptation to climate change. *Yuridicheskii vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, vol. 34, no. 2, pp. 14–21. DOI: 10.21779/2224-0241-2020-34-2-14-21 (in Russian).

23. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019. WHO, 2020. Available at: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghc2019_daly-methods.pdf?sfvrsn=31b25009_7 (March 16, 2023).

24. Shur P.Z., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Khasanova A.A. Assessing health risks caused by exposure to climatic factors for people living in the Far North. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 3, pp. 53–62. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.04.eng

25. Revich B.A., Grigorieva E.A. 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, vol. 18, no. 2, pp. 12–33. DOI: 10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33 (in Russian).

26. Kozlovskaya I.L., Bulkina O.S., Lopukhova V.V., Chernova N.A., Ivanova O.V., Kolmakova T.E., Karpov Yu.A. Heat and cardiovascular diseases: A review of epidemiological surveys. *Terapevticheskii arkhiv*, 2015, vol. 87, no. 9, pp. 84–90. DOI: 10.17116/terarkh201587984-90 (in Russian).

27. Kilbourne E.M. The spectrum of illness during heat waves. *Am. J. Prev. Med.*, 1999, vol. 16, no. 4, pp. 359–360. DOI: 10.1016/s0749-3797(99)00016-1

28. Revich B.A. Heat-waves in metropolises and thresholds of their impact on public health. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1073–1078. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-11-1073-1078 (in Russian).

29. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Excess mortality during heat waves and cold spells in Moscow, Russia. *Occup. Environ. Med.*, 2008, vol. 65, no. 10, pp. 691–696. DOI: 10.1136/oem.2007.033944

30. Chernykh D.A., Taseiko O.V. Assessment of the risk mortality from heat waves in Krasnoyarsk city. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*, 2017, vol. 2, no. 13, pp. 678–680 (in Russian).

31. Toxicological profile for carbon monoxide. Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012, 347 p.

Shur P.Z., Khasanova A.A., Tsinker M.Yu., Zaitseva N.V. Methodical approaches to assessing public health risks under combined exposure to climatic factors and chemical air pollution caused by them. Health Risk Analysis, 2023, no. 2, pp. 58–68. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.05.eng

Получена: 02.04.2023

Одобрена: 19.05.2023

Принята к публикации: 02.06.2023