

Научный обзор

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ КАК ФАКТОРЫ РИСКА ЗДОРОВЬЮ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Б.А. Ревич

Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук, Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский пр., 47

Изменение климата в России способствует увеличению числа лесных пожаров, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, индекс пожароопасности лесов возрастает. Повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха, который характерен для ряда городов этих регионов, привел к изменениям состояния здоровья населения из-за поступления значительных объемов дымовых газов от лесных пожаров на территории населенных пунктов. Дым от лесных пожаров состоит из аэрозолей и газов, в нем присутствует более 40 загрязняющих веществ. Во время пожаров у детей наблюдается увеличение частоты обращений за скорой медицинской помощью в связи с обострением заболеваний верхних дыхательных путей, в том числе ларингита, фарингита и ОРЗ, а также с приступами бронхиальной астмы и увеличением продолжительности периодов обострения этого заболевания. Такие нарушения функций органов дыхания проявляются и через несколько дней после пожаров, что следует учитывать при организации мониторинга здоровья в подобных ситуациях. Среди взрослого населения во время пожаров доказано увеличение числа смертельных исходов от сердечно-сосудистых заболеваний и органов дыхания. Возрастает также число их обращений за медицинской помощью по поводу хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), бронхиальной астмы, инфаркта миокарда, ишемической болезни сердца (ИБС) и других заболеваний. В городах Хабаровского края с высоким показателем гористости лесов во время лесных пожаров наблюдается ухудшение состояния здоровья больных с неврологическими заболеваниями.

Обобщение результатов отечественных и зарубежных исследований по этому вопросу подтверждает необходимость улучшения системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха во время лесных пожаров с определением количества взвешенных частиц для своевременного проведения профилактических мероприятий со стороны систем здравоохранения, Роспотребнадзора, ФМБА и других ведомств. Представляется также необходимым развить моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, подвергающихся их воздействию, с оценками риска здоровью населения и разработкой профилактических мер. Учитывая актуальность этих исследований, целесообразно проведение семинаров со странами БРИКС в рамках международного сотрудничества.

Ключевые слова: изменение климата, лесные пожары, смертность населения, заболеваемость населения, заболевания верхних дыхательных путей, бронхиальная астма, мониторинг качества атмосферного воздуха, фактор риска.

В мире постоянно происходит увеличение числа лесных пожаров, причины которых разнообразны – изменение климата, приводящее к засухе, поджог травы в агротехнических целях, человеческий фактор и другие. Около 54 % лесов расположены в пяти странах – России, Бразилии, Канаде, США и Китае. За последние 20 лет число мощных пожаров в мире выросло в 2 раза. Только в европейских странах возникает до 700 лесных пожаров в год, причем среди стран Евросоюза по этому показателю лидируют французская Корсика, Греция, Италия; в США – западные территории с очень сильными и

длительными пожарами. Изменения климата, включая глобальное потепление, продолжительные засухи и сухие молнии, оказали значительное влияние на рост числа лесных пожаров из-за увеличения числа волн жары и деградации земель. Это стало новой и весьма сложной мировой проблемой [1–3]. Актуальна она и для России, где частота лесных пожаров постоянно растет, в период до 2020 г., по сравнению с 2016 г., этот показатель ежегодно увеличивался на 10 % [4]. К 2099 г., по различным прогнозам, их длительность может возрасти на 20–29 дней и более на всей Европейской части РФ [5].

© Ревич Б.А., 2024

Ревич Борис Александрович – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения (e-mail: brevich@yandex.ru; тел.: 8 (499) 129-18-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

В 2022–2023 гг. серия пожаров произошла в 70 регионах страны, пострадали 4 млн га. Самые крупные пожары наблюдались в Амурской, Свердловской, Омской, Челябинской областях, Забайкальском и Хабаровском краях, Еврейской автономной области, но они также затронули Якутию, Магаданскую, Иркутскую, Тюменскую, Новосибирскую области¹. Лесное ведомство сообщает, что в 2023 г. ни один населенный пункт не пострадал от пожара, но при этом не учитывалось влияние дымовых газов на качество атмосферного воздуха и здоровье населения городов и сельских поселений.

Потепление климата стало одной из основных причин лесных пожаров в Сибири, где постоянно наблюдались температуры выше нормы. Так, в Верхоянске зафиксирована максимальная температура воздуха более 38 °С, что является новым температурным рекордом к северу от Северного полярного круга. Высокие температуры высушивают поверхность почвы, делая ее более горючей, что способствует раннему возникновению сезонных лесных пожаров и увеличению их площади [6]. В 2019 г. вследствие изменения климата в Сибири сложились аномальные климатические условия. Дым от пожаров в Красноярском крае затронул территории Омской, Тюменской, Свердловской, Челябинской областей и Пермского края, где проживают до 10 млн человек [7]. Дымовые шлейфы рекордного числа пожаров в Сибири летом 2021 г. протянулись на расстояние более 3000 км и достигли Северного полюса. Число ударов молний увеличилось в три раза к северу от 65 ° северной широты, что привело к дальнейшему повышению риска лесных и тундровых пожаров [6].

Среди субъектов РФ по числу лесных пожаров почти каждый год первое место занимает Республика Саха (Якутия) – самая большая территория страны, где площадь пожаров достигает 8–10 млн га за сезон [8–10]. Повторяемость возгораний в сибирских лесах зависит от их состава. Например, их больше в низкорослых светлохвойных лесах центра восточной части Сибири, чем в западной части. В средней части Сибири лесных пожаров больше в южных районах, причем их частота постоянно увеличивается².

Прогнозные сценарии частоты пожаров на территории России разрабатываются уже более 10 лет в институтах РАН и Росгидромета, ожидается увеличение частоты пожаров в Азиатской части страны [11–15]. Наиболее сильные и продолжительные пожары следует ждать в лесах южной части этой территории, где повышение температуры сопровождается

снижением количества осадков и повышением индекса пожароопасности лесов. В эту зону попадают южные районы Кемеровской, Омской, Иркутской областей, Забайкальского края и других территорий. По оценкам климатологов, индекс пожароопасности лесов может возрасти в 2,5 раза, по сравнению с концом XX в. [14]. Однако увеличение числа лесных пожаров происходит и в Европейской части РФ. Например, в Приволжском федеральном округе в 1992–2020 гг. их частота была наибольшей в Нижегородской и Самарской областях [16].

Состав дыма от лесных пожаров. В результате горения лесных массивов образуется дым, состоящий из смеси аэрозолей с частицами различного диаметра и летучих веществ, причем их физико-химические свойства меняются по мере удаления от очага и рассеяния в атмосферном воздухе. В дымовых газах от пожаров присутствует более 40 веществ, в том числе оксиды углерода (СО и СО₂), метан, метанол, метилхлорид, твердые аэрозоли (в том числе сажа), ацетон, акролеин и другие вещества. При горении торфа содержание ацетона в дымовых газах увеличивается [10]. Есть также информация о более сложном составе дымовых газов от лесных пожаров. Размещение в лесах полигонов твердых бытовых отходов (ТБО), какой-либо техники и зданий с полимерными материалами может привести к появлению в дымовых газах свободных радикалов, синильной кислоты и других химических соединений [17].

Вблизи очага возгорания в составе дыма присутствует большое количество взвешенных частиц (РМ) размером 2,5 мкм и более, но по мере его распространения возрастает доля еще более мелких частиц. Токсикология отдельных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, таких как монооксид углерода, оксиды серы и азота, альдегиды, ПАУ, фенол, тяжелые металлы, изучена российскими токсикологами и представлена в сотнях публикаций. В течение последних 15 лет постоянно проводятся исследования токсичности взвешенных частиц малого диаметра, появляются новые данные, и на русском языке опубликовано несколько обзоров по этой проблеме [18]. Мелкие частицы диаметром 0,1 мкм рассматриваются как газы, и в настоящее время активно изучаются их канцерогенные свойства.

Пожары и загрязнение атмосферного воздуха. Результаты оценки степени загрязнения атмосферного воздуха РМ и другими веществами во время пожаров и в последующие дни опубликованы только по нескольким российским городам. Во время аномально жаркого лета в Москве в 2010 г. пожары возникли в восточной части Московской об-

¹ Федеральное агентство лесного хозяйства: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (дата обращения: 04.07.2024).

² Прогнозирование частоты лесных пожаров в Сибири в связи с глобальными изменениями климата: отчет по гранту РФФИ / Э.Н. Валендик, М.К. Арбатская, Е.А. Ваганов, Е.Н. Волосатова, Г.А. Иванова, О.И. Левкина, Д.В. Овчинников, Е.А. Шашкин. – 1997.

ласти, гарь распространялась более чем на 100 км, затрагивая территории и на западе области. Для оценки воздействия PM_{10} на смертность населения в этот период в Москве была применена пуассоновская регрессионная модель ежедневной смертности. В качестве зависимой переменной использовалась ежедневная смертность от всех естественных причин, которая подчинялась распределению Гаусса. Установлено, что при среднесуточной концентрации PM_{10} в пределах 53 мкг/м^3 не происходит превышения среднего многолетнего показателя смертности от всех причин, кроме внешних; при концентрациях $53\text{--}96 \text{ мкг/м}^3$ наблюдается постепенное увеличение смертности, которое достигает максимального уровня при концентрациях 138 мкг/м^3 [19]. В это же время были зафиксированы превышения ПДК оксидов азота, бенз(а)пирена и формальдегида [20].

Лесные пожары 2010 г. привели к загрязнению атмосферного воздуха на лесистых территориях многих областей Европейской части РФ, что вызвало преждевременную смертность населения. Например, в Воронежской области естественная смертность от всех причин, кроме внешних, в августе этого года возросла более чем в 1,5 раза (68,7 %) [21]. Доказана достоверная связь температуры и концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе с госпитализацией от всех заболеваний, а по взвешенным веществам – умеренная и сильная связь с общей смертностью [22–24]. Во время пожаров в Воронежской, Самарской, Саратовской и других областях фиксировалось загрязнение атмосферного воздуха оксидом углерода, диоксидом азота, взвешенными веществами, формальдегидом и углеводородами. Так, в Саратовской области в 2018 г. наблюдалась корреляция между площадью пожаров и динамикой максимально разовых концентраций диоксида азота ($r = 0,47$; $p < 0,05$), концентрациями взвешенных веществ ($r = 0,57$; $p < 0,05$) и углеводородов ($r = 0,62$; $p < 0,05$). Вероятностный риск здоровью от кратковременной ингаляционной экспозиции превышал безопасный уровень HQ по оксиду азота, взвешенным частицам, формальдегиду [25]. Результаты этого исследования подтвердили данные предыдущих работ по оценке состояния здоровья детей во время пожаров, выявившие повышение частоты случаев появления симптомов со стороны верхних дыхательных путей и увеличение продолжительности периодов обострения этих заболеваний [26].

К части населения, наиболее уязвимой от воздействия лесных пожаров, можно отнести и жителей сибирских и дальневосточных городов с повышенным уровнем загрязнения атмосферы, вошедших в

проект «Чистый воздух», – Братска, Красноярска, Читы, Иркутска и других. В атмосферном воздухе Красноярска содержание мелкодисперсных частиц PM_{10} превышает российские нормативные величины (60 мкг/м^3) и рекомендации ВОЗ (50 мкг/м^3)³. В аналогичном отчете 2018 г. данные о концентрациях PM_{10} не приведены, но отмечено увеличение концентраций общего количества всех взвешенных веществ в 1,7–2,3 раза. Это означает, что возросли и концентрации наиболее опасных для здоровья мелкодисперсных частиц⁴, воздействие которых может привести к увеличению общей смертности городского населения на 9,3–21,9 % [27].

Высокие концентрации PM в атмосферном воздухе во время лесных пожаров характерны и для зарубежных стран. Во время сильных пожаров в Португалии суточные концентрации PM превышали европейские и национальные рекомендации в течение 7–14 и 1–12 дней 2017 г. (до $704 \text{ мкг/м}^3 PM_{10}$ и $46 \text{ мкг/м}^3 PM_{2,5}$) соответственно. Концентрации PM_{10} коррелировали с общей площадью выгоревших объектов ($0,500 < r < 0,949$, $p > 0,05$) и с месячной общей площадью выгоревших объектов и квадратным расстоянием ($0,500 < r < 0,667$, $p > 0,05$) [28]. Самые крупные лесные пожары в США локализируются в Калифорнии, только в 2020 г. здесь произошло более 9600 пожаров, что привело к экономическим потерям в миллиарды долларов. Именно эти пожары становятся причиной до 32–44 % всех выбросов твердых частиц $PM_{2,5}$ в США. В составе сложной смеси твердых частиц и газообразных загрязняющих веществ, содержащихся в дыме, $PM_{2,5}$ представляют собой основную проблему для общественного здравоохранения из-за известных рисков здоровью, высоких концентраций и обширного рассеивания во время лесных пожаров. Повышенные концентрации $PM_{2,5}$ опасны как для органов дыхания, так и для сердечно-сосудистой системы.

Воздействие атмосферного воздуха, загрязненного продуктами горения лесов и торфяников, на здоровье населения. Согласно данным PubMed, по этой проблеме опубликовано более 70 статей, что в сотни и тысячи раз меньше, чем по другим факторам риска здоровью. Преимущественно эти исследования ведутся в Бразилии с ее гигантскими пожарами лесов на территории Амазонии, США, Канаде, Греции, некоторых других европейских и юго-восточных странах.

Смертность населения. Российские исследования по этой проблеме проведены только по некоторым территориям – Москве, Воронежской и Иркутской областях, Чите, Хабаровскому краю. Жарким

³ О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае: Государственный доклад за 2017 год [Электронный ресурс] // Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края. – URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/32983> (дата обращения: 17.05.2024).

⁴ О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае: Государственный доклад за 2018 год [Электронный ресурс] // Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края. – URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/39742> (дата обращения: 17.05.2024).

летом 2010 г. в Москве сочетание воздействия аномально высоких температур и повышенного уровня загрязнения атмосферного воздуха от пожаров лесов и торфяников привело к достоверному повышению смертности на 11 тысяч случаев. Как показала разработанная в рамках этого исследования математическая модель смертности, она достоверно зависела от совместного воздействия повышенных концентраций PM_{10} и озона в атмосферном воздухе, а также аномально высоких температур и длительности волны жары [29]. Весьма неблагоприятная ситуация сложилась в Чите, где в воздухе жилой застройки во время пожаров лесов затруднено рассеяние выбросов из-за нахождения этого города в межгорной котловине. Во время горения лесов концентрации практически всех исследуемых веществ были выше сезонных фоновых значений, а содержание взвешенных веществ, CO , NO_2 , сажи превышали максимально разовые и среднесуточные ПДК в несколько раз. Определение расчетных концентраций подтвердили данные натурных измерений – содержание $PM_{2,5}$, общего количества взвешенных веществ оксида углерода и сажи превышало ПДК в радиусе до 5–10 км, а ацетальдегида – до 20 км. Средние коэффициенты опасности (HQ_{ac}) превысили единицу, что свидетельствует о повышенном риске здоровью, который также подтвержден и более высокой частотой вызовов скорой медицинской помощи по поводу заболеваний органов дыхания и кровообращения среди детей до 17 лет и взрослых старше 65 лет во время пожаров. Число таких вызовов выросло в 1,5–4 раза⁵ [30, 31]. Созданная этими авторами база данных об обращаемости населения получила сертификат Роспатента, и это очень важный пример подготовки первичной медицинской информации о воздействии именно дымовых газов от лесных пожаров на здоровье населения. Данная информация впоследствии может быть использована социально-гигиеническим мониторингом для объективной оценки последствий этих природных явлений, так как она содержит первичные сведения о пожарах, концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Читы и данные об обращаемости населения за скорой медицинской помощью⁶.

Другая методика оценки риска здоровью при воздействии химических веществ, утвержденная Роспотребнадзором, была использована этой же группой авторов для оценки последствий лесных пожаров в г. Братске Иркутской области [32]. Массы выбросов химических веществ были определены по «Методике определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров», проведен расчет концентраций загрязняющих веществ в атмосферном возду-

хе города, рассчитан риск здоровью, а также выполнен анализ обращений за скорой медицинской помощью. В Иркутской области, где лесом покрыты до 82 % всей площади, в периоды лесных пожаров происходит рост числа обращений за медицинской помощью в связи с заболеваниями органов дыхания – на 6,5 %; обострениями хронических бронхитов – на 4,2 % и бронхиальной астмы – на 5,2 % [10].

Первое место среди российских регионов по гористости лесов занимает Хабаровский край, где во время пожаров были зафиксированы значительные превышения ПДК взвешенных частиц, диоксида азота, фенола и формальдегида [33]. Оценка воздействия горения лесных массивов на уровень смертности населения различных районов в 1997–2001 гг. была проведена и в этом крае путем сопоставления ее уровня в зависимости от частоты пожаров. К сожалению, в Хабаровске, Комсомольске-на-Амуре и других населенных пунктах из-за малого числа станций мониторинга качества атмосферного воздуха трудно оценить количественные зависимости между концентрациями загрязняющих веществ и изменениями состояния здоровья населения; необходимо уточнить и перечень таких веществ [34]. За этот период времени в пяти районах, на территории которых постоянно возникали эти опасные природные явления, происходило увеличение уровня смертности, не отмеченное в других районах, но не было выявлено связи этого показателя с величиной площади пожаров [35].

В обзоре [36] о краткосрочном воздействии выбросов лесных пожаров на здоровье населения обобщены результаты немногочисленных исследований по этой проблеме в США, Европе, Австралии, некоторых азиатских странах и странах Южной Америки. Данных о таких работах по России и странам Африки нет. Мы надеемся, что данная статья в определенной мере заполнит эту лауну. Были проанализированы такие показатели здоровья, как обращаемость за медицинской помощью, в том числе за скорой, и госпитализация по поводу заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. Несмотря на неоднородность оценок влияния уровня загрязнения взвешенными частицами атмосферного воздуха и выбросов от лесных пожаров на здоровье, в глобальном масштабе обнаружена их связь с респираторными заболеваниями, включая астму, и отмечены неоднозначные результаты в отношении эффектов, связанных с сердечно-сосудистой системой. Они проявлялись и были значимыми только через несколько дней после пожаров, что следует учитывать при организации мониторинга здоровья в таких ситуациях.

⁵ Елфимова Т.А. Оценка влияния эмиссий от лесных пожаров на экологическое состояние урбанизированных территорий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Оренбург, 2014. – 21 с.

⁶ Качество атмосферного воздуха и обращаемость населения г. Читы за скорой медицинской помощью в период массовых лесных пожаров: свидетельство о государственной регистрации базы данных № RU 2015621824 Российская Федерация / Т.А. Елфимова, В.С. Рукавишников, А.Г. Иванов, Н.В. Ефимова. – № 2015621350; заявл. 02.11.2015, опублик. 28.12.2015.

За рубежом такие исследования проводятся в основном в Бразилии, где в периоды мощных лесных пожаров в 2012 г. произошло увеличение преждевременных смертей на 9800 случаев [37]. Особенно крупные пожары летом 2019 г. наблюдались в Амазонии: были разрушены многие экосистемы, дым проследивался на расстоянии до 1000 км [38]. На этой территории примерно 10 % случаев избыточной смертности было связано с дымовыми газами от пожаров лесов, только с воздействием $PM_{2,5}$, причем в наибольшей степени пострадало население, находящееся с подветренной стороны. Активность пожаров и оценка дальности распространения дыма оценивается как с помощью спутников, так и геохимическими методами на основании анализа почв. Воздействие $PM_{2,5}$ по всей Бразилии привело к 4966 преждевременным смертям в пожароопасный сезон 2019 г. В этом году смертность от пожаров увеличилась на 74 %, по сравнению с 2018 г., но была немного ниже самого высокого показателя за исследуемый период (5273 смерти в 2017 г.). Однако метаанализ опубликованных исследований о воздействии $PM_{2,5}$ выявил большее влияние на преждевременную смертность при низких уровнях этих частиц в регионах, удаленных от мест пожаров [39]. По всей Бразилии с июля по сентябрь на пожары приходилось примерно 10 % общей смертности, связанной с $PM_{2,5}$. Поскольку сухой сезон в бассейне Амазонки обычно заканчивается в ноябре, выбросы дыма от пожаров 2019 г., вероятно, сыграли даже большую роль, чем предполагалось в этом исследовании. Помимо смертности, пожары 2019 г. были связаны с увеличением числа госпитализаций по поводу респираторных заболеваний, в первую очередь детей младшего возраста и пожилых людей [40, 41].

Весьма интересны результаты исследований воздействия пожаров разной интенсивности на смертность населения Афин с населением 3 млн человек [42]. Эти пожары по площади горения гораздо меньше пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке, но даже они оказали влияние на увеличение общей смертности на 4,9 % (95 % ДИ: 0,3–9,6 %) и на 6,0 % (95 % ДИ: -0,3–12,6 %), от сердечно-сосудистых заболеваний и от болезней органов дыхания – на 16,2 % (95 % ДИ: 1,3–33,4 %). Для примера приведем данные о возрастании смертности от одного крупного пожара – 49,7 % (95 % ДИ: 37,2–63,4 %), 60,6 % (95 % ДИ: 43,1–80,3 %) и 92,0 % (95 % ДИ: 47,5–150,0 %). Интересно, что авторы этого исследования не связывают данные эффекты только с увеличением концентрации PM в атмосферном воздухе, возможно воздействие и других факторов, например, сильного стресса.

Заболелаемость населения. Летом и осенью 2018 г. продолжительность пожароопасного сезона в Хабаровском крае превысила среднюю величину этого показателя за много лет на 13 дней, в 1,5 раза увеличилось обычное число крупных пожаров, что привело к уничтожению или повреждению более

2,5 млн га леса [43] и интенсивному задымлению атмосферы Хабаровска, Комсомольска-на-Амуре и Амурска. В дни наиболее интенсивных пожаров максимальные разовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе этих городов превышали ПДК по взвешенным веществам в 6 раз, по оксиду углерода и диоксиду серы – в 2–6 раз. Эта ситуация вызвала необходимость изучения последствий пожаров для здоровья населения Хабаровского края, которые были исследованы различными кафедрами Дальневосточного медицинского университета в сотрудничестве с Территориальным управлением Роспотребнадзора, гидрометеослужбой, рядом научных организаций. Результаты проведенных исследований отражены в монографии «Дым лесных пожаров и здоровье» [33] и других публикациях [44]. При воздействии дыма лесных пожаров следует ожидать повышения уровня заболеваемости органов дыхания экспонированного населения, такая тенденция была зафиксирована в Николаевском районе, который расположен в зоне мощных пожаров, а также в Комсомольске-на-Амуре. Среди детей Хабаровска, длительное время находившихся на открытом воздухе, описаны случаи «своеобразной обратимой острой патологии», которую авторы назвали «токсической бронхопневмонией» [45]. Также на этих территориях во время пожаров отмечалось повышение обращаемости детей по поводу осложнений течения бронхиальной астмы. Подобная ситуация наблюдалась в Улан-Удэ. Бурятия также входит в перечень наиболее пожароопасных территорий. Этот город, как и Чита, находится в межгорной котловине, где затруднено рассеивание дымовых газов и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [46].

Увеличение числа случаев бронхиальной астмы и сердечно-сосудистых заболеваний среди населения описано и при пожарах лесов в Португалии в 2017 г. [28]. Впоследствии исследование воздействия лесных пожаров в этой стране на здоровье детей установило увеличение относительного риска для PM_{10} и диоксида азота до 320 и 648 случаев бронхита у детей в 2016 и 2017 гг. [47]. Около 25 % учащихся в Бразилии (что соответствует более чем 10 млн школьников) подвергаются риску здоровью из-за воздействия высоких уровней загрязнения воздуха в результате лесных пожаров [48]. Затраты здравоохранения на лечение этих заболеваний составили 1 млн евро.

Воздействие дымовых газов на состояние здоровья взрослого населения, кроме пожарных и людей в пострадавших от пожаров зданий, мало изучено. Результаты зарубежных исследований отражены только в нескольких публикациях, свидетельствующих об обострении ХОБЛ во время таких ситуаций. Например, в Сингапуре оценили последствия воздействия дыма от лесных пожаров, который поступал при преобладающих ветрах от индонезийских штатов Калимантан и Суматра в 1997 г. [49]. Эти пожары

происходили на расстоянии более 500 км, но привели к увеличению концентраций PM_{10} с 50 до 150 $\mu\text{г}/\text{м}^3$. В результате наблюдалось достоверное повышение на 12 % случаев заболеваний верхних дыхательных путей, на 19 % – астмы и на 26 % – ринита. Микроскопическое сканирование частиц дыма показало, что 94 % частиц были меньше 2,5 $\mu\text{м}$ в диаметре. Поэтому так важны пионерные исследования по этому направлению в Хабаровске, демонстрирующие достоверное увеличение обращаемости взрослого населения с симптомами ОРЗ, ларинготрахеита и острого бронхита по отношению к тому же периоду времени года без пожаров [33]. Подтверждение этих выводов можно найти в публикации Н.В. Барановского и соавт. [50] о частоте приступов бронхиальной астмы по данным опроса взрослых с использованием международного стандарта ECRHS [51] на трех типах территорий с различным воздействием дыма от лесных пожаров⁷. Статистический анализ выявил достоверность увеличения астмоподобных симптомов на территориях, подверженных воздействию лесных пожаров. Авторами не указана территория проведенного исследования, но можно предположить, что это Томская область.

Негативное влияние атмосферного воздуха, насыщенного дымом от лесных пожаров, подтверждено и циклом работ по Калифорнии, где они остаются значимыми факторами риска, особенно для наиболее уязвимых групп населения. Исследование более 30 млн обращений – гигантская выборка информации об оказании медицинской помощи в 2008–2016 гг. по поводу астмы, ХОБЛ, респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе инфаркту миокарда и гипертонии, – выявило более высокие оценки риска развития астмы и респираторных симптомов, по сравнению с сердечно-сосудистыми заболеваниями. При оценке риска здоровью были также учтены возраст и социально-экономический статус человека, отмечалось значительное различие риска в разных демографических группах.

Обследование взрослого населения в Хабаровском крае во время пожаров констатировало среди взрослого населения, в отличие от детского, достоверные нарушения со стороны ЦНС и сердечно-сосудистой системы – увеличение обращаемости по поводу ИБС, гипертонической болезни и инфаркта миокарда [33]. Как считает соавтор вышеупомянутой монографии профессор Т.А. Захарычева, «информации о воздействии на ЦНС дымовых газов от пожаров практически нет», но у пациентов неврологических учреждений Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре с дисциркуляторной и постинсультной энцефалопатией во время таких событий наблюдалась декомпенсация состояния или транзиторные ишемические атаки; у больных остеохондрозом, преимущественно шейного отдела позвоночника,

развилась острая вертебробазилярная недостаточность, проявлявшаяся вестибулоатактическим синдромом. В год интенсивных пожаров, по сравнению с предыдущим годом, число госпитализированных пациентов с цереброваскулярной патологией увеличилось в 1,4–4 раза ($p < 0,01–0,001$), частота острого нарушения мозгового кровообращения возросла в 1,2–4,5 раза ($p < 0,01–0,001$). Неврологи, авторы этого исследования из Дальневосточного государственного медицинского университета, считают, что «в патогенезе ишемии головного мозга большую роль играют изменения физико-химического состояния крови, возникающие в результате воздействия токсических продуктов горения и оказывающие существенное влияние на церебральную гемодинамику». Кроме того, многие вещества, образующиеся по время пожаров, воздействуют на различные биохимические показатели, например процессы перекисного окисления липидов [44]. В природных условиях это подтверждено результатами исследований жителей одного из районов Хабаровского края, находящегося в зоне воздействия дыма от пожаров. Определение маркеров перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты выявило у трети обследованных проявления повышенного цитолиза – аланинаминотрансферазы (АЛТ) и щелочной фосфатазы, что, по мнению авторов, «может быть следствием поступления в кровь ее легочной фракции при вдыхании повреждающих мембраны клеток дыхательных путей и альвеол токсичными компонентами дыма» [52].

Комплекс исследований, проведенный в Хабаровском крае для оценки воздействия воздуха, загрязненного дымом от пожаров, включал также оценку состояния репродуктивного здоровья. В периоды наиболее высоких концентраций загрязняющих веществ зафиксировано ухудшение состояния здоровья беременных, рост экстрагенитальной патологии по ряду заболеваний во время пожаров 2018 г. в городе Комсомольске-на-Амуре. По сравнению с контрольной группой, среди экспонированного населения установлено достоверное увеличение гестационного периода, тенденция к гиперкоагуляции крови [33]. Нарушения репродуктивного здоровья, связанные с воздействием длительных пожаров, отмечают и зарубежные исследователи [36].

Проблемы со своевременным тушением лесных пожаров в определенной степени связывают с закрытием такого ведомства, как Государственная лесная охрана. Через несколько лет ее восстановили, но были потеряны опытные кадры. Площади с горящими лесами, где велось тушение, в 2019 г. достигали 107 тыс. га. Вторая проблема – существование зон контроля на территориях, где нет населенных пунктов, поэтому осуществляется только видеонаблюдение, а не тушение. Ситуацию с управ-

⁷ Бронхиальная астма: монография: в 2 т. / под ред. акад. ПАМН А.Г. Чучалина. – М.: Агар, 1997. – Т. 1. – 432 с.

лением лесами рассматривают как «плачевную» [7], так как не хватает финансирования должной системы по охране лесов, а действующее ведомство с этим не справляется.

При пожарах наиболее уязвимые группы населения в России, как и в других странах, – это лица старше 65 лет, с хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы и органов дыхания, беременные; среди детей – часто болеющие. В городах, особенно с миллионным населением, особое внимание во время высоких температур воздуха, превышающих температурный порог [19, 53], и во время лесных пожаров следует уделять людям пожилого возраста и лицам без постоянного места жительства. Даже при своевременном извещении о наступлении периода жары и лесных пожаров некоторые люди из групп повышенного риска не могут принять меры защиты, поэтому необходимы действия властей, общественных организаций, волонтеров по их обеспечению питьевой водой, лекарствами, продуктами питания. С учетом демографического прогноза по России о дальнейшем увеличении в возрастной структуре населения доли лиц старше 65 лет на эту группу должно быть направлено особое внимание со стороны всего социального сектора. Результаты исследований в США и Канаде показывают, что учет краткосрочных последствий воздействия РМ приводит еще к большим нарушениям здоровья из-за лесных пожаров [54–56].

В настоящем обзоре рассматриваются риски воздействия на здоровье лесных пожаров, но существует и другая актуальная проблема – оценка риска при возгорании на полигонах бытовых отходов из-за нахождения на них огромного количества различных полимерных материалов. В состав дымовых газов от этих объектов входят летучие органические вещества, стирол, бутулен, ацетальдегид, уксусная кислота и другие токсичные химические соединения. Они могут служить источниками загрязнения атмосферного воздуха на значительные расстояния [57]. Состав дымов газов при пожарах обогащается еще и радиоактивными веществами, например, ^{127}Cs присутствует на территориях радиоактивного загрязнения. Основная часть этого изотопа поступает при пожарах в атмосферный воздух от лесной подстилки [58]. Это необходимо учитывать при планировании контрольных или научных исследований на таких территориях.

Отсутствие медицинской информации для населения о правилах поведения во время аномальной жары и лесных пожаров, а для лиц, принимающих решения, – о необходимых действиях в этих ситуациях оказывает крайне негативное влияние на здоровье человека. Например, в Москве в 2010 г. со стороны клиницистов и специалистов по профилактической медицине поступали весьма противоречивые рекомендации. В Хабаровском крае в 1998 г. во время лесных пожаров и сильного задымления атмосферы «предлагали использовать подушки с ки-

слородом», что могло усилить негативное влияние и привести к оксидативному стрессу, вызванному загрязняющими веществами [33].

При анализе ситуации с лесными пожарами в стране некоторые юристы в своих публикациях отмечают пробелы как в государственном законодательстве, так и в самой системе управления лесным хозяйством. По их мнению, Лесной кодекс Российской Федерации не содержит конкретных требований к лицам, осуществляющим тушение лесных пожаров, отсутствует эффективная нормативная правовая база в области охраны лесов от пожаров, есть и другие недостатки государственного регулирования [59]. На правовые упущения документов по охране лесов указывает и юрист М.В. Олейник [60], которая настаивает на существовании проблем с незаконной рубкой деревьев, незаконным вывозом леса, отсутствием должного контроля за лесным фондом и единой информационной системы. Вместе с тем есть и отдельные положительные примеры внедрения системы видеонаблюдения около лесов в Пермском крае. Это дало возможность лесной охране оперативно реагировать и принимать меры по локализации пожара, предотвращать перенос дымовых газов в направлении размещения плотной жилой застройки.

Специалисты Центрального НИИ по проблемам гражданской безопасности и чрезвычайным ситуациям МЧС считают необходимым внедрение в управленческие структуры на муниципальном уровне аппаратно-программного комплекса «Безопасный город». Этот комплекс позволит разрабатывать модели среднесрочного и долгосрочного прогнозирования лесных пожаров на основе анализа исторических данных о метеорологической обстановке, пожарной опасности, лесных пожарах и других показателей [61]. Возможно, подобная база данных и прогнозные сценарии будут полезны территориальным управлениям Роспотребнадзора для оценки санэпидобстановки на территориях и разработке соответствующих профилактических мероприятий во время лесных пожаров.

Может быть интересен и опыт стран БРИКС, где регулярно возникают мощные лесные пожары, проводятся исследования их последствий для здоровья населения и оценка экономического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха в селитебной территории. Используя комбинацию глобальных и региональных моделей качества воздуха и наблюдений для изучения воздействия лесных и растительных пожаров на ухудшение качества воздуха и здоровье населения, в Юго-Восточной Азии обнаружено, что ликвидация пожаров может существенно улучшить качество воздуха при снижении концентраций $\text{PM}_{2.5}$ и озона на 5 %. Это позволит обеспечить снижение смертности на 59 тысяч случаев (95 % ДИ: 55 200–62 900). Авторы заключают, что сокращение лесных и растительных пожаров должно быть приоритетом общественного здравоохранения в регионе Юго-Восточной Азии [62]. Желатель-

но выполнить подобное исследование и по наиболее пожароопасным российским территориям. В планах работы медицинских организаций на территориях, подвергающихся воздействию дыма от лесных пожаров, необходимо усилить мониторинг респираторной заболеваемости населения, особенно детского, и включить соответствующие профилактические мероприятия. Профильным ведомствам целесообразно организовать контроль содержания РМ, разработать

модели с учетом температуры дымовых газов и распространения РМ как индикаторного показателя этих газов в направлении размещения плотной жилой застройки.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Climate change presents increased potential for very large fires in the contiguous United States / R. Barbero, J.T. Abatzoglou, N.K. Larkin, K.A. Colden, B. Stokes // *International Journal of Wildland Fire*. – 2015. – Vol. 24, № 7. – P. 892–899. DOI: 10.1071/WF15083
2. Particulate air pollution from wildfires in the western United States under climate change / J.C. Liu, L.J. Mickley, M.P. Sulpriso, F. Dominici, H. Yue, K. Ebisu, G.B. Anderson, R.F.A. Khan [et al.] // *Clim. Change*. – 2016. – Vol. 138, № 3. – P. 655–666. DOI: 10.1007/s10584-016-1762-6
3. Forest fires in Europe, Middle East and North Africa, 2017 / J. San Miguel-Ayanz, T. Durrant, R. Boca, G. Liberta, A. Branco, D. de Rigo, D. Ferrari, P. Maianti [et al.]. – *Ispira, Italy: Publications Office of the European Union*, 2018.
4. Ложкина О.В., Орловцев С.В., Савинов А.Г. Анализ влияния изменения климата на природные пожары на примере Российской Федерации и ряда зарубежных стран // *Проблемы управления рисками в техносфере*. – 2022. – № 4. – С. 111–121.
5. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Оценка опасности лесных пожаров на территории России при потеплении климата в XXI веке // *Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных*. – 2014. – № 178. – С. 135–146.
6. Wildfires in the Siberian taiga / V.I. Kharuk, E.I. Ponomarev, G.A. Ivanova, M.L. Dvinskaya, S.C.P. Coogan, M.D. Flannigan // *Ambio*. – 2021. – Vol. 50, № 11. – P. 1953–1974. DOI: 10.1007/s13280-020-01490-x
7. Буркова Е.И. Глобальное изменение климата и лесные пожары в России // *Запад – Восток – Россия 2019. Ежегодник: сб. статей*. – 2020. – С. 160–163.
8. Слепцова А.Н., Слепцова Г.Н. Лесные пожары Якутии: факторы возникновения, влияние на экологию и здоровье населения // *Научное обозрение: теория и практика*. – 2023. – Т. 13, № 5 (99). – С. 731–741. DOI: 10.35679/2226-0226-2023-13-5-731-741
9. Нафиков И.Р., Нурутдинов Р.Р. Анализ лесных пожаров в России // *Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы международной молодежной научной конференции: в 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова*. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – Т. 1. – С. 720–723.
10. Ващалова Т.В., Гармышев В.В. Загрязнение атмосферы Иркутской области в результате природных пожаров и оценка риска здоровью населения // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. – 2020. – Т. 28, № 3. – С. 252–262. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-252-262
11. К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI в. / С.П. Малевский-Малевич, Е.К. Молькентин, Е.Д. Надежина, О.Б. Шкляревич // *Метеорология и гидрология*. – 2005. – № 3. – С. 36–44.
12. Анализ изменения пожароопасной обстановки в лесах России в XX и XXI вв. на основе моделирования климатических условий / С.П. Малевский-Малевич, Е.К. Молькентин, Е.Д. Надежина, А.А. Семиошина, И.А. Салль, Е.И. Хлебникова, О.Б. Шкляревич // *Метеорология и гидрология*. – 2007. – № 3. – С. 14–24.
13. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М. Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // *Доклады Академии наук*. – 2006. – Т. 411, № 6. – С. 808–811.
14. Мохов И.И., Чернокульский А.А. Региональные модельные оценки риска лесных пожаров в азиатской части России при изменениях климата // *География и природные ресурсы*. – 2010. – № 2. – С. 120–126.
15. Экстремальность термического режима в Сибири и динамика пожароопасной обстановки в 21 веке: оценки с помощью региональной климатической модели ГГО / И.М. Школьник, Е.К. Молькентин, Е.Д. Надежина, Е.И. Хлебникова, И.А. Салль // *Метеорология и гидрология*. – 2008. – № 5. – С. 5–15.
16. Пожарная опасность в лесах на территории Приволжского федерального округа в период 1992–2020 гг. / Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, Н.А. Мирсаева, Т.Р. Аухадеев // *Изменения климата и углеродная нейтральность: вызовы и возможности: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции*. – Ханты-Мансийск: ООО «Печатный мир», 2022. – С. 43–48.
17. Химические вещества как поражающий фактор пожаров / В.А. Башарин, А.Н. Гребенюк, Н.Ф. Маркизова, Т.Н. Преображенская, С.Х. Сармаев, П.Г. Толкач // *Военно-медицинский журнал*. – 2015. – Т. 336, № 1. – С. 22–28. DOI: 10.17816/RMMJ73846
18. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // *Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем*. – 2018. – Т. 29, № 3. – С. 53–78. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
19. Оценка опасности для здоровья населения Москвы высокой температуры и загрязнения атмосферного воздуха / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, С.Л. Авалиани, К.Г. Рубинштейн, С.В. Емелина, М.В. Ширяев, Е.Г. Семутникова, П.В. Захарова, О.В. Кислова // *Гигиена и санитария*. – 2015. – Т. 94, № 1. – С. 36–40.

20. К анализу последствий высокого загрязнения воздушного бассейна Москвы летом 2010 г. / Е.Л. Генихович, А.В. Киселев, И.В. Смирнова, С.С. Чичерин // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2012. – № 565. – С. 79–88.
21. Ревич Б.А. Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения Европейской части России летом 2010 года: результаты предварительной оценки // Экология человека. – 2011. – № 7. – С. 3–9.
22. Влияние температурных погодных аномалий на здоровье населения Воронежской области / А.В. Енин, А.В. Масальгин, Е.С. Токарева, П.П. Архипенко // Гигиенические и экологические аспекты профилактики заболеваемости на региональном уровне: материалы III Межвузовской научно-практической конференции. – 2018. – С. 62–65.
23. Чубирко М.И., Пичужкина Н.М., Масайлова Л.А. Ущерб здоровью населения в условиях чрезвычайной ситуации, связанной с пожарами // Здравоохранение Российской Федерации. – 2018. – № 4. – С. 42.
24. Куролап С.А. Региональные особенности и прогнозные оценки влияния климатических изменений на здоровье населения Центрального Черноземья // Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы): материалы международной научной конференции / под общ. ред. В.И. Федотова. – Саратов: Научная книга, 2012. – С. 403–409.
25. Каретникова А.Ю., Терехина Е.С., Шляпников Н.В. Гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха Саратовской области в период лесных пожаров // Университетская наука: взгляд в будущее: сборник научных трудов по материалам международной научной конференции, посвященной 85-летию Курского государственного медицинского университета: в 2 т. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2020. – Т. 1. – С. 191–195.
26. Хотько Н.И., Дмитриев, А.П. Санитарное состояние атмосферного воздуха и здоровье населения // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2012. – № 2 (22). – С. 125–135.
27. Ревич Б.А. Качество атмосферного воздуха в мегаполисах и риски здоровью населения // Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования / под ред. проф. Б.А. Ревича, О.В. Кузнецовой. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – С. 214–225.
28. Environmental particulate matter levels during large wildfires and megafires in the Central Region of Portugal in 2017: a public health issue? / M. Oliveira, K. Deleru-Matos, M.C. Pereira, S. Moralis // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 3. – P. 1032. DOI: 10.3390/ijerph17031032
29. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Першаген Г. Новая эпидемиологическая модель по оценке воздействия аномальной жары и загрязненного атмосферного воздуха на смертность населения (на примере Москвы 2010 г.) // Профилактическая медицина. – 2015. – № 5. – С. 29–33. DOI: 10.17116/profmed201518529-3
30. Ефимова Н.В., Елфимова Т.А. Состояние здоровья экосенситивных групп населения в период острого загрязнения атмосферного воздуха дымом лесных пожаров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 1–8. – С. 1874–1877.
31. Рукавишников В.С., Ефимова Н.В., Елфимова Т.А. Изучение риска здоровью при кратковременной ингаляционной экспозиции в условиях лесных пожаров // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 1. – С. 50–52.
32. Елфимова Т.А., Ефимова Н.В. Апробация методики оперативной оценки последствий лесных пожаров для здоровья экспонированного населения // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6. – С. 103.
33. Добрых В.А., Захарычева Т.А. Дым лесных пожаров и здоровье. – Хабаровск: Изд-во Дальневосточного государственного медицинского университета, 2009. – 200 с.
34. Мониторинг качества атмосферного воздуха в городах-участниках Федерального проекта «Чистый воздух» Дальневосточного экономического района / В.Н. Федоров, А.А. Ковшов, Н.А. Тихонова, О.И. Копытенкова, И.О. Мясников // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 6. – С. 510–518. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-6-510-518
35. Рябкова В.А., Брылева И.Н. Состояние здоровья населения Хабаровского края в условиях воздействия лесных пожаров // Дальневосточный медицинский журнал. – 2002. – № 3. – С. 41–44.
36. Barros B., Oliveira V., Morais S. Continent-based systematic review of the short-term health impacts of wildfire emissions // J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev. – 2023. – Vol. 26, № 7. – P. 387–415. DOI: 10.1080/10937404.2023.2236548
37. Drought-heatwave nexus in Brazil and related impacts on health and fires: A comprehensive review / R.R. Libonaty, J.L. Geirinhas, P.S. Silva, D. Monteiro Dos Santos, J.A. Rodrigues, A. Russo, L.F. Peres, L. Narcizo [et al.] // Ann. NY Acad. Sci. – 2022. – Vol. 1517, № 1. – P. 44–62. DOI: 10.1111/nyas.14887
38. Large air quality and human health impacts due to Amazon forest and vegetation fires / E.W. Butt, L. Conibear, C.L. Reddington, E. Darbyshire, W.T. Morgan, H. Coe, P. Artaxo, J. Brito [et al.] // Environmental Research Communications. – Vol. 2, № 9. – P. 095001. DOI: 10.1088/2515-7620/abb0db
39. Navaz M.O., Henze D.K. Premature Deaths in Brazil Associated With Long-Term Exposure to PM_{2.5} From Amazon Fires Between 2016 and 2019 // Geohealth. – 2020. – Vol. 4, № 8. – P. e2020GH000268. DOI: 10.1029/2020GH000268
40. Vodonos A., Awad Y.A., Schwartz J. The concentration-response between long-term PM_{2.5} exposure and mortality; a meta-regression approach // Environ. Res. – 2018. – Vol. 166. – P. 677–689. DOI: 10.1016/j.envres.2018.06.021
41. The air is unbearable: Health impacts of deforestation-related fires in the Brazilian Amazon [Электронный ресурс] // Human Rights Watch, Amazon Environmental Research Institute; Institute for Health Policy Studies. – 2020. – URL: <https://www.hrw.org/report/2020/08/26/air-unbearable/healthimpacts-deforestation-related-fires-brazilian-amazon> (дата обращения: 10.08.2024).
42. Analitis A., Georgiadis I., Katsouyanni C. Forest fires are associated with increased mortality in dense urban areas // Occup. Environ. Med. – 2012. – Vol. 69, № 3. – P. 158–162. DOI: 10.1136/oem.2010.064238
43. Матвеева А.Г. Характеристика пожароопасного сезона 2018 года в Хабаровском крае [Электронный ресурс] // Ученые заметки ТОГУ: электронное научное издание. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 205–214. – URL: https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2019/TGU_10_188.pdf (дата обращения: 12.08.2024).

44. Влияние пожаров в лесах Хабаровского края на состояние здоровья людей с цереброваскулярными заболеваниями / Т.А. Захарычева, А.М. Хелимский, А.Ф. Махинова, Е.Г. Иванова, Т.А. Щербаносова, Н.А. Прянишникова, Е.В. Шаповалов // Дальневосточный медицинский журнал. – 2002. – № 3. – С. 19–22.
45. Влияние дыма лесных пожаров на течение болезней органов дыхания / В.А. Добрых, Л.Г. Гонохова, В.Ю. Тарасевич, С.В. Пичугина, А.Ф. Махинова, В.А. Рябкова // Пульмонология. – 2000. – № 3. – С. 25–29.
46. Сидоров А.А., Санжиева Е.В. Влияние лесных пожаров Республики Бурятия на окружающую среду и здоровье человека // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 1 (136). – С. 188–193.
47. Health and Economic Burden of the 2017 Portuguese Extreme Wildland Fires on Children / J.B. Barbosa, R.A.O. Nunez, M.C.M. Alvim-Ferraz, F.G. Martins, S.I.V. Souza // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – Vol. 19, № 1. – P. 593. DOI: 10.3390/ijerph19010593
48. Requia W.J., Roig H.L., Schwartz J.D. Schools Exposure to Air Pollution Sources in Brazil: A Nationwide Assessment of More than 180 Thousand Schools // Sci. Total Environ. – 2021. – Vol. 763. – P. 143027. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143027
49. Emmanuel S.C. Impact to lung health of haze from forest fires: The Singapore experience // Respirology. – 2000. – Vol. 5, № 2. – P. 175–182. DOI: 10.1046/j.1440-1843.2000.00247.x
50. Барановский Н.В., Барановская С.В., Исакова А.В. Методика оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения // Пожарная безопасность. – 2007. – № 3. – С. 71–74.
51. Глобальная стратегия лечения и профилактики бронхиальной астмы / под ред. А.Г. Чучалина. – М.: Атмосфера, 2002. – 160 с.
52. Рябкова В.А., Брылева И.Н., Филонов Н.Н. Патологические изменения гемограммы и морфоструктуры сыворотки крови у населения, подвергшегося длительному воздействию лесных пожаров // Дальневосточная весна – 2006: материалы международной научно-практической конференции. – Комсомольск-на-Амуре, 2006. – С. 208–211.
53. Шапошников Д.А. Ревич Б.А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоровья // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 1. – С. 22–31. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.03
54. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 / N. Fann, B. Alman, R. Broome, G. Morgan, F. Johnson, G. Pouliot, A.G. Rappold // Sci. Total Environ. – 2018. – Vol. 610–611. – P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024
55. Wildfire-specific fine particulate matter and risk of hospital admissions in urban and rural counties / J.C. Liu, A. Wilson, L.J. Mickley, F. Dominici, K. Ebisu, Y. Wang, M.P. Sulprizio, R.D. Peng [et al.] // Epidemiology. – 2017. – Vol. 28, № 1. – P. 77–85. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000556
56. Health impact analysis of PM_{2.5} from wildfire smoke in Canada (2013–2015, 2017–2018) / C.J. Matz, M. Egyed, G. Xi, J. Racine, R. Pavlovic, R. Rittmaster, S.B. Henderson, D.M. Stieb // Sci. Total Environ. – 2020. – Vol. 725. – P. 138506. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138506
57. Ашихмина Т.В., Куприенко П.С., Жидова М.В. Анализ экологических факторов задымления при пожаре на полигоне твердых коммунальных отходов и оценка потенциального риска вреда здоровью населения // Пожарная и техногенная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2022. – № 2 (12). – С. 32–41.
58. Дворник А.А., Дворник А.М., Король Р.А., Гапоненко С.О. Радиоактивное загрязнение воздуха в результате лесных пожаров и его опасность для здоровья человека // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2016. – Т. 25, № 2. – С. 100–108.
59. Паламарчук Н.С. Неудовлетворительная охрана лесов от пожаров в объектах Российской Федерации как одна их глобально-актуальных причин и злободневных проблем современности: причины и пути решения // Проблемы в российском законодательстве. Юридический журнал. – 2012. – № 2. – С. 128–131.
60. Олейник М.В. «Парниковый» пожар: влияние глобального изменения климата на лесные пожары // Проблемы в российском законодательстве. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 183–186.
61. Акимов В.А., Колеганов С.В., Мишурный А.В. АПК «Безопасный город»: оценка вероятности ЧС // Гражданская защита. – 2022. – № 5. – С. 36–38.
62. Air Pollution From Forest and Vegetation Fires in Southeast Asia Disproportionately Impacts the Poor / C.L. Reddington, L. Conibear, S. Robinson, C. Knote, S.R. Arnold, D. Spracklen // Geohealth. – 2021. – Vol. 5, № 9. – P. e2021GH000418. DOI: 10.1029/2021GH000418

Ревич Б.А. Изменения климата и лесные пожары как факторы риска здоровью (аналитический обзор) // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 3. – С. 132–145. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.14



Research article

CLIMATE CHANGE AND FOREST FIRES AS HEALTH RISK FACTORS (ANALYTICAL REVIEW)

B.A. Revich

Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, 47 Nakhimovskii Av., Moscow, 117418, Russian Federation

Climate change in Russia contributes to an increase in the number of forest fires, especially in Siberia and the Far East, leading to the rise in the forest fire danger index. Increased air pollution, which is typical for a number of cities in these regions, is the reason for changes in population health due to the influx of significant volumes of smoke gases from forest fires into populated areas. Smoke from forest fires, consists of aerosols and gases and contains more than 40 pollutants. During fires, frequency of calls for emergency medical care for children tends to increase due to exacerbation of upper respiratory tract diseases, including laryngitis, pharyngitis and acute respiratory infections, as well as attacks of bronchial asthma, and longer exacerbation periods of this disease. Such respiratory dysfunctions appear a few days after fires, which should be taken into account when organizing health monitoring in such situations. Among adult population, an increase in the number of deaths from cardiovascular and respiratory diseases has been proven during forest fires, and there tends to be an increase in the number of requests for medical care for COPD, bronchial asthma, myocardial infarction, coronary heart disease and other diseases. Fires in forest highlands in the Khabarovsk Krai result in deteriorating health of patients with neurological diseases.

The generalization of the results obtained by domestic and foreign studies on this issue confirms the need to improve the air pollution monitoring system during forest fires with the determination of PM for timely preventive measures by health systems, Rosпотребнадзор, FMBA and other agencies. It also seems necessary to develop modeling of pollutant spread in ambient air in settlements exposed to them, with assessments of population health risks and development of preventive measures. Given the relevance of these studies, it is advisable to hold seminars with BRICS countries within the framework of international cooperation.

Keywords: climate change, forest fires, population mortality and incidence, diseases of the upper airways, bronchial asthma, air quality monitoring, risk factor.

References

1. Barbero R., Abatzoglou J.T., Larkin N.K., Colden K.A., Stokes B. Climate change presents increased potential for very large fires in the contiguous United States. *International Journal of Wildland Fire*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 892–899. DOI: 10.1071/WF15083
2. Liu J.C., Mickley L.J., Sulprizio M.P., Dominici F., Yue H., Ebisu K., Anderson G.B., Khan R.F.A. [et al.]. Particulate air pollution from wildfires in the western United States under climate change. *Clim. Change*, 2016, vol. 138, no. 3, pp. 655–666. DOI: 10.1007/s10584-016-1762-6
3. San Miguel-Ayanz J., Durrant T., Boca R., Liberta G., Branco A., de Rigo D., Ferrari D., Maianti P. [et al.]. Forest fires in Europe, Middle East and North Africa, 2017. Ispra, Italy, Publications Office of the European Union, 2018.
4. Lozhkina O.V., Orlovsev S.V., Savinov A.G. Analiz vliyaniya izmeneniya klimata na prirodnye pozhary na primere Rossiiskoi Federatsii i ryada zarubezhnykh stran [Analysis of the impact of climate change on wildfires in the Russian Federation and some foreign countries]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2022, no. 4, pp. 111–121 (in Russian).
5. Serstyukov B.G., Serstyukov A.B. Assessing the risk of forest fires in Russia when climate warming will in the twenty-first century. *Trudy VNIIGMI – MTsD*, 2014, no. 178, pp. 135–146 (in Russian).
6. Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.D. Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio*, 2021, vol. 50, no. 11, pp. 1953–1974. DOI: 10.1007/s13280-020-01490-x
7. Burkova E.I. Global climate change and forest fires in Russia. *West – East – Russia (archive)*, 2020, pp. 160–163 (in Russian).
8. Sleptsova A.N., Sleptsova G.N. Forest fires in Yakutia: factors of occurrence, impact on ecology and public health. *Nauchnoe obozrenie: teoria i praktika*, 2023, vol. 13, no. 5 (99), pp. 731–741. DOI: 10.35679/2226-0226-2023-13-5-731-741 (in Russian).

© Revich B.A., 2024

Boris A. Revich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of Laboratory for Environment Quality Prediction and Population Health (e-mail: brevich@yandex.ru; tel.: +7 (499) 129-18-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>).

9. Nafikov I.R., Nurutdinov R.R. Analysis of forest fires in Russia. *Tinchurinskie chteniya – 2023 «Energetika i tsifrovaya transformatsiya»: materialy Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii: in 3 volumes*. In: E.Yu. Abdullayev ed. Kazan, Kazan State Energy University Publ., 2023, vol. 1, pp. 720–723 (in Russian).
10. Vashchalova T.V., Garmyshev V.V. Atmospheric pollution of the Irkutsk region as a result of natural fires and public health risk assessment. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 252–262. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-252-262 (in Russian).
11. Malevskii-Malevich S.P., Mol'kentin E.K., Nadezhina E.D., Shklyarevich O.B. K otsenke izmenenii pozharoopasnoi obstanovki v lesakh Rossii pri ozhidaemom potepnenii klimata v XXI v. [On assessment of changes in the fire hazard situation in Russian forests with expected climate warming in the 21st century]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, no. 3, pp. 36–44 (in Russian).
12. Malevskii-Malevich S.P., Mol'kentin E.K., Nadezhina E.D., Semioshina A.A., Sall' I.A., Khlebnikova E.I., Shklyarevich O.B. Analysis of changes in fire-hazard conditions in the forests in Russia in the 20th and 21st centuries on the basis of climate modeling. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2007, vol. 32, no. 3, pp. 154–161. DOI: 10.3103/S1068373907030028
13. Mokhov I.I., Chernokul'sky A.V., Shkolnik I.A. Regional model estimates of fire risk under global climate changes. *Doklady Earth Sciences*, 2006, vol. 411, no. 9, pp. 1485–1488. DOI: 10.1134/S1028334X06090340
14. Mokhov I.I., Chernokul'sky A.V. Regional model assessments of forest fire risks in the Asian part of Russia under climate change. *Geography and Natural Resources*, 2010, vol. 31, no. 2, pp. 165–169.
15. Shkol'nik I.M., Mol'kentin E.K., Nadezhina E.D., Khlebnikova E.I., Sall' I.A. Ekstremal'nost' termicheskogo rezhima v Sibiri i dinamika pozharoopasnoi obstanovki v 21 veke: otsenki s pomoshch'yu regional'noi klimaticheskoi modeli GGO [The extremes of the thermal regime in Siberia and the dynamics of the fire hazard situation in the 21st century: assessments using the GGO regional climate model]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, no. 5, pp. 5–15 (in Russian).
16. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Mirsaeva N.A., Aukhadeev T.R. Fire danger in forests on the territory of the Volga Federal District in the period 1992–2020. *Izmeneniya klimata i uglerodnaya neutral'nost': vyzovy i vozmozhnosti: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Khanty-Mansiisk, OOO 'Pechatnyi Mir' Publ., 2022, pp. 43–48 (in Russian).
17. Basharin V.A., Grebenyuk A.N., Markizova N.F., Preobrazhenskaya T.N., Sarmanaev S.Kh., Tolkach P.G. Chemicals as fires damaging factor. *Voenno-meditsinskii zhurnal*, 2015, vol. 336, no. 1, pp. 22–28. DOI: 10.17816/RMMJ73846 (in Russian).
18. Revich B.A. Fine suspended particulates in ambient air and their health effects in megalopolises. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovanie ekosistem*, 2018, vol. 29, no. 3, pp. 53–78. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78 (in Russian).
19. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Avaliani S.L., Rubinshteyn K.G., Emelina S.V., Shiryayev M.V., Semutnikova E.G., Zakharova P.V., Kislova O.Yu. Hazard assessment of the impact of high temperature and air pollution on public health in Moscow. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 1, pp. 36–40 (in Russian).
20. Genikhovich E.L., Kiselev A.V., Smirnova I.V., Chicherin S.S. K analizu posledstviy vysokogo zagryazneniya vozdukhnoy basseina Moskvy letom 2010 g. [On analyzing the consequences of high air pollution in Moscow in the summer of 2010]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*, 2012, no. 565, pp. 79–88 (in Russian).
21. Revich B.A. Heat-wave, air quality and mortality in European Russia in summer 2010: preliminary assessment. *Ekologiya cheloveka*, 2011, no. 7, pp. 3–9 (in Russian).
22. Enin A.V., Masalytin A.V., Tokareva E.S., Arkhipenko P.P. Vliyanie temperaturnykh pogodnykh anomalii na zdorov'e naseleniya Voronezhskoi oblasti [The influence of temperature weather anomalies on population health in the Voronezh region]. *Gigienicheskie i ekologicheskie aspekty profilaktiki zabolvaemosti na regional'nom urovne: materialy III Mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2018, pp. 62–65 (in Russian).
23. Chubirko M.I., Pichuzhkina N.M., Masailova L.A. Damage to human health under fire-associated emergency conditions. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2018, no. 4, pp. 42 (in Russian).
24. Kurolap S.A. Regional'nye osobennosti i prognoznye otsenki vliyaniya klimaticheskikh izmenenii na zdorov'e naseleniya Tsentral'nogo Chernozem'ya [Regional features and forecast estimates of the impact of climate change on population health in the Central Black Earth Region]. *Regional'nye efekty global'nykh izmenenii klimata (prichiny, posledstviya, prognozy): materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. In: V.I. Fedotov ed. Saratov, Nauchnaya kniga Publ., 2012, pp. 403–409 (in Russian).
25. Karetnikova A.Yu., Terekhina E.S., Shlyapnikov N.V. Gigienicheskaya otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukh Saratovskoi oblasti v period lesnykh pozharov [Hygienic assessment of atmospheric air pollution in the Saratov region during forest fires]. *Universitetskaya nauka: vzglyad v budushchee: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu Kurskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta: in 2 volumes*. Kursk, Kursk State Medical University Publ., 2020, vol. 1, pp. 191–195 (in Russian).
26. Khot'ko N.I., Dmitriev A.P. Sanitarnoe sostoyanie atmosfernogo vozdukh i zdorov'e naseleniya [Sanitary state of ambient air and population health]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Meditsinskie nauki*, 2012, no. 2 (22), pp. 125–135 (in Russian).
27. Revich B.A. Kachestvo atmosfernogo vozdukh v megapolisakh i riski zdorov'yu naseleniya [Ambient air quality in megalopolises and population health risks]. In book: *Chelovek v megapolise: opyt mezhdistsiplinarnogo issledovaniya [A man in a metropolis: the experience of interdisciplinary research]*. In: Prof. B.A. Revich, O.V. Kuznetsova eds. Moscow, LENAND Publ., 2018, pp. 214–225 (in Russian).
28. Oliveira M., Deleru-Matos K., Pereira M.C., Moralis S. Environmental particulate matter levels during large wildfires and megafires in the Central Region of Portugal in 2017: a public health issue? *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 1032. DOI: 10.3390/ijerph17031032

29. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Pershagen Yu. New epidemiological model for assessment of the impact of extremely hot weather and air pollution on mortality (in case of the Moscow heat wave of 2010). *Profilakticheskaya meditsina*, 2015, no. 5, pp. 29–33. DOI: 10.17116/profmed201518529-3 (in Russian).
30. Efimova N.V., Elfimova T.A. Health state of ecosensitive groups of the population in period of acute pollution of atmospheric air by smoke from forest fires. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2011, vol. 13, no. 1–8, pp. 1874–1877 (in Russian).
31. Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Elfimova T.A. The study of health risk in short-term inhalation exposure in conditions of forest fires. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 1, pp. 50–52 (in Russian).
32. Elfimova T.A., Efimova N.V. Approbation of the method for rapid assessment of effects of forest fires health exposed population. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2016, no. 6, pp. 103 (in Russian).
33. Dobrykh V.A., Zakharycheva T.A. Dym lesnykh pozharov i zdorov'e [Forest Fire Smoke and Health]. Khabarovsk, Far Eastern State University Publ., 2009, 200 p. (in Russian).
34. Fedorov V.N., Kovshov A.A., Tikhonova N.A., Novikova Yu.A., Kopytenkova O.I., Myasnikov I.O. Monitoring of atmospheric air quality in cities participating in the federal project “Clean Air” of the Far Eastern Economic Region. *Gigiena i sanitariya*, 2024, vol. 103, no. 6, pp. 510–518. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-6-510-518 (in Russian).
35. Ryabkova V.A., Bryleva I.N. Health state of population in the Khabarovsk region under the influence of forest fires. *Dal'nevostochnyi meditsinskii zhurnal*, 2002, no. 3, pp. 41–44 (in Russian).
36. Barros B., Oliveira V., Morais S. Continent-based systematic review of the short-term health impacts of wildfire emissions. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.*, 2023, vol. 26, no. 7, pp. 387–415. DOI: 10.1080/10937404.2023.2236548
37. Libonaty R.R., Geirinhas J.L., Silva P.S., Monteiro Dos Santos D., Rodrigues J.A., Russo A., Peres L.F., Narcizo L. [et al.]. Drought-heatwave nexus in Brazil and related impacts on health and fires: A comprehensive review. *Ann. NY Acad. Sci.*, 2022, vol. 1517, no. 1, pp. 44–62. DOI: 10.1111/nyas.14887
38. Butt E.W., Conibear L., Reddington C.L., Darbyshire E., Morgan W.T., Coe H., Artaxo P., Brito J. [et al.]. Large air quality and human health impacts due to Amazon forest and vegetation fires. *Environmental Research Communications*, 2020, vol. 2, no. 9, pp. 095001. DOI: 10.1088/2515-7620/abb0db
39. Navaz M.O., Henze D.K. Premature Deaths in Brazil Associated With Long-Term Exposure to PM_{2.5} from Amazon Fires Between 2016 and 2019. *Geohealth*, 2020, vol. 4, no. 8, pp. e2020GH000268. DOI: 10.1029/2020GH000268
40. Vodonos A., Awad Y.A., Schwartz J. The concentration-response between long-term PM_{2.5} exposure and mortality; a meta-regression approach. *Environ. Res.*, 2018, vol. 166, pp. 677–689. DOI: 10.1016/j.envres.2018.06.021
41. The air is unbearable: Health impacts of deforestation-related fires in the Brazilian Amazon. *Human Rights Watch, Amazon Environmental Research Institute; Institute for Health Policy Studies*, 2020. Available at: <https://www.hrw.org/report/2020/08/26/air-unbearable/healthimpacts-deforestation-related-fires-brazilian-amazon> (August 10, 2024).
42. Analitis A., Georgiadis I., Katsouyanni C. Forest fires are associated with increased mortality in dense urban areas. *Occup. Environ. Med.*, 2012, vol. 69, no. 3, pp. 158–162. DOI: 10.1136/oem.2010.064238
43. Matveeva A.G. Characteristics of the fire hazardous season of 2018 in Khabarovsk region. *Uchenye zametki TOGU*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 205–214. Available at: https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2019/TGU_10_188.pdf (August 12, 2024) (in Russian).
44. Zakharycheva T.A., Khelimsky A.M., Makhinova A.F., Ivanova E.G., Shcherbonosova T.A., Pryanishnikova N.A., Shapovalov E.V. Influence of forest fires in the Khabarovsk region on the health state of patients with cerebrovascular diseases. *Dal'nevostochnyi meditsinskii zhurnal*, 2002, no. 3, pp. 19–22 (in Russian).
45. Dobrykh V.A., Gonokhova L.G., Tarasevich V.Yu., Pichugina S.V., Makhinova A.F., Ryabkova V.A. An influence of smoke from wood fire on respiratory diseases course. *Pul'monologiya*, 2000, no. 3, pp. 25–29 (in Russian).
46. Sidorov A.A., Sanzhieva S.E. Influence of forest fires in the Republic of Buryatia on the environment and human health. *Vestnik KrasGAU*, 2018, no. 1 (136), pp. 188–193 (in Russian).
47. Barbosa J.B., Nunez R.A.O., Alvim-Ferraz M.C.M., Martins F.G., Souza S.I.V. Health and Economic Burden of the 2017 Portuguese Extreme Wildland Fires on Children. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 1, pp. 593. DOI: 10.3390/ijerph19010593
48. Requia W.J., Roig H.L., Schwartz J.D. Schools Exposure to Air Pollution Sources in Brazil: A Nationwide Assessment of More than 180 Thousand Schools. *Sci. Total Environ.*, 2021, vol. 763, pp. 143027. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143027
49. Emmanuel S.C. Impact to lung health of haze from forest fires: The Singapore experience. *Respirology*, 2000, vol. 5, no. 2, pp. 175–182. DOI: 10.1046/j.1440-1843.2000.00247.x
50. Baranovskii N.V., Baranovskaya S.V., Isakova A.V. Metodika otsenki vliyaniya lesnykh pozharov na zdorov'e naseleniya [Method for estimating influence of forest fires on population health]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2007, no. 3, pp. 71–74 (in Russian).
51. Global strategy for asthma management and prevention. In: A.G. Chuchalin ed. Moscow, Atmosfera Publ., 2002, 160 p. (in Russian).
52. Ryabkova V.A., Bryleva I.N., Filonov N.N. Patologicheskie izmeneniya gemogrammy i morfostruktury syvorotki krovi u naseleniya, podvergshegosya dlitel'nomu vozdeistviyu lesnykh pozharov [Pathological changes in the hemogram and morphostructure of blood serum in population under long-term exposure to forest fires]. *Dal'nevostochnaya vesna-2006: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Komsomolsk-on-Amur, 2006, pp. 208–211 (in Russian).
53. Shaposhnikov D.A., Revich B.A. On some approaches to calculation of health risks caused by temperature waves. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 1, pp. 22–31. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.03.eng
54. Fann N., Alman B., Broome R., Morgan G., Johnson F., Pouliot G., Rappold A.G. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012. *Sci. Total Environ.*, vol. 610–611, pp. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024

55. Liu J.C., Wilson A., Mickley L.J., Dominici F., Ebisu K., Wang Y., Sulprizio M.P., Peng R.D. [et al.]. Wildfire-specific fine particulate matter and risk of hospital admissions in urban and rural counties. *Epidemiology*, 2017, vol. 28, no. 1, pp. 77–85. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000556

56. Matz C.J., Egyed M., Xi G., Racine J., Pavlovic R., Rittmaster R., Henderson S.B., Stieb D.M. Health impact analysis of PM_{2.5} from wildfire smoke in Canada (2013–2015, 2017–2018). *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 725, pp. 138506. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138506

57. Ashikhmina T.V., Kuprienko P.S., Zhidova M.V. Analysis of environmental factors of smoke during a fire at a public solid waste polygon and assessment of the potential risk of harm to population health. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya*, 2022, no. 2 (12), pp. 32–41 (in Russian).

58. Dvornik A.A., Dvornik A.M., Korol R.A., Gaponenko S.O. Radioactive contamination of air as a result of forest fires and its threat to a human health. *Radiatsiya i risk (Byulleten' Natsional'nogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra)*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 100–108 (in Russian).

59. Palamarchuk N.S. Inadequate protection of forests from fires in the Russian Federation as one of the most pressing global issues of the present: causes and solutions. *Problemy v rossiiskom zakonodatel'stve. Yuridicheskii zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 128–131 (in Russian).

60. Oleynik M.V. «Greenhouse» Fire: the Impact of Global Climate Change on Forest Fires. *Problemy v rossiiskom zakonodatel'stve*, 2022, vol. 15, no. 3, pp. 183–186 (in Russian).

61. Akimov V.A., Koleganov S.V., Mishurny A.V. APK «Bezopasnyi gorod»: otsenka veroyatnosti ChS [APK 'Safe City': assessment of probability of an emergency]. *Grazhdanskaya zashchita*, 2022, no. 5, pp. 36–38 (in Russian).

62. Reddington C.L., Conibear L., Robinson S., Knote C., Arnold S.R., Spracklen D. Air Pollution from Forest and Vegetation Fires in Southeast Asia Disproportionately Impacts the Poor. *Geohealth*, 2021, vol. 5, no. 9, pp. e2021GH000418. DOI: 10.1029/2021GH000418

Revich B.A. Climate change and forest fires as health risk factors (analytical review). *Health Risk Analysis*, 2024, no. 3, pp. 132–145. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.14.eng

Получена: 21.07.2024

Одобрена: 19.09.2024

Принята к публикации: 23.09.2024