

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

© 2020 г. М. М. Салтыкова, И. П. Бобровницкий, А. В. Балакаева

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

В статье представлен обзор литературы, посвященной анализу особенностей влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения в арктическом регионе. Показано, что суровые климатические условия Арктики не только непосредственно влияют на здоровье населения, но и обуславливают повышение как уровня загрязнения воздуха, так и его негативного влияния на здоровье. При этом в организме человека усиливаются окислительные процессы, которые при хроническом воздействии и недостаточном адаптационном потенциале организма могут приводить к развитию окислительного стресса, который, в свою очередь, индуцирует дисфункцию эндотелия сосудов и эпителиальных клеток слизистых оболочек органов дыхания. Одновременное действие холода и загрязнения воздуха, являющихся синергистами, ускоряет развитие заболеваний и старения организма человека в условиях высоких широт, воздействуя в наибольшей степени на заболеваемость болезнями системы кровообращения и органов дыхания. Это делает необходимым: 1) разработку специальных методик и средств для мониторингирования состояния основных органов-мишеней такого воздействия (сосудистая стенка, органы дыхания) с целью раннего выявления их дисфункции, эти методики и средства должны быть пригодны для использования при обследовании больших контингентов лиц, работающих в условиях Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), и 2) разработку методик медицинской реабилитации, адаптированных к условиям АЗРФ.

Ключевые слова: Арктика, экология, загрязнение атмосферного воздуха, болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания

AIR POLLUTION AND POPULATION HEALTH IN THE RUSSIAN ARCTIC: A LITERATURE REVIEW

M. M. Saltykova, I. P. Bobrovnikskii, A. V. Balakaeva

Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, Russia

This literature review summarizes the evidence on the effects of air pollution on health of the population living in the Arctic Region. The available evidence suggests that the extreme climatic conditions of the Arctic affect the health of the population not only directly but also increase negative impact of air pollution on population health. An oxidative stress induces dysfunction of the vascular endothelium and membranes of epithelial cells. Synergetic effects of cold and air pollution accelerate aging of the human body in high latitudes affecting to the greatest extent the incidence of diseases of the circulatory and respiratory systems. This warrants development of special methods and tools for monitoring the state of the main target organs of such exposure for early detection of their dysfunction. These tools should be suitable for use in examining large groups of people working in the Arctic. Development of rehabilitation and treatment methods adapted to the conditions of the Arctic is also warranted.

Key words: Arctic, ecology, air pollution, circulatory system diseases, respiratory diseases

Библиографическая ссылка:

Салтыкова М. М., Бобровницкий И. П., Балакаева А. В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения арктического региона: обзор литературы // Экология человека. 2020. № 4. С. 48–55.

For citing:

Saltykova M. M., Bobrovnikskii I. P., Balakaeva A. V. Air Pollution and Population Health in the Russian Arctic: a Literature Review. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 4, pp. 48-55.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), воздействие загрязняющих воздух веществ является одним из ведущих факторов риска хронических неинфекционных заболеваний [31]. Более 7 % всей смертности в мире обусловлено загрязнением воздуха [31].

Всемирная организация здравоохранения рекомендует для обязательного контроля следующие вещества: взвешенные частицы, озон, оксид и диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, метан и без-

метановые углеводороды. По данным исследований, проведенных по эгидой ВОЗ [34, 38, 43], загрязнение воздуха мелкими взвешенными частицами является пятым среди основных факторов риска смертности в мире. С использованием математического моделирования было показано, что в 2015 г. загрязнение воздуха мельчайшими взвешенными частицами способствовало 40,3 % всех смертей от инсульта, 26,8 % — ишемической болезни сердца, 23,9 % — рака легких, 18,7 % — хронической обструктивной

болезни легких [43]. Взвешенные частицы (particulate matter — PM) — это жидкие и твердые частицы малого размера, содержащиеся в воздухе в виде аэрозоля; их химический состав зависит от метеорологических и географических условий, взаимодействия в атмосфере, источников происхождения. Взвешенные частицы включают в себя бактерии, пыльцу, споры, а также неорганические компоненты и органический углерод. Наибольшую опасность для здоровья представляют мелкодисперсные (размером менее 2,5 мкм) частицы (PM_{2,5}), которые могут достигать бронхиол и альвеол, а также ультрамелкодисперсные частицы (PM_{0,1}) с размером частиц менее 0,1 мкм, которые могут проникать в кровоток [34, 38, 41, 43]. Взвешенные частицы могут накапливаться в различных органах и тканях организма и оказывать влияние как на органы дыхания, так и на сосудистую систему, в первую очередь на внутреннюю стенку кровеносных сосудов.

По данным ВОЗ [31], наибольший вклад загрязнение воздуха взвешенными частицами вносит в смертность от болезней системы кровообращения: смертность от инсульта и ишемической болезни сердца составляет более 70 % от всего количества смертей, обусловленных загрязнением. При этом смертность от хронической обструктивной болезни легких составляет 8 %, от рака легкого 14 %. Высокие концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц могут способствовать развитию артериальной гипертензии [20, 39–41] — одному из главных факторов риска сердечно-сосудистой смертности [12]. Lin H. с соавт. [39] показали, что в Китае более 10 % случаев артериальной гипертензии обусловлены хроническим загрязнением воздуха (в анализ были включены данные 12,5 тысячи человек в возрасте старше 50 лет, проживавших на территориях с разным уровнем загрязнения воздуха). Scheers H. и соавт. [41] в результате метаанализа данных рандомизированных контролируемых исследований показали, что загрязнение воздуха взвешенными частицами является фактором риска инсульта: для PM₁₀ отношение рисков составляет 1,087 (95 % ДИ: 1,023–1,154) при увеличении загрязнения на каждые 10 мг/м³, а для PM_{2,5} — 1,094 (95 % ДИ: 1,038–1,153) при увеличении загрязнения на каждые 5 мг/м³.

Оценки влияния загрязнения воздуха на заболеваемость и смертность получены с помощью математического моделирования с использованием детальных данных о загрязнении, заболеваемости и смертности. Хотя эти данные получены для регионов, расположенных южнее Арктической зоны, они позволяют предполагать, что и в арктическом регионе основной вклад загрязнение воздуха дает в смертность от кардиоваскулярных заболеваний (ишемическая болезнь сердца и инсульт), а также в смертность от рака легкого и хронической обструктивной болезни легких. При этом наибольшее значение имеет загрязнение мелкодисперсными взвешенными частицами. Основными механизмами, посредством которых

загрязнение воздуха влияет на сердечно-сосудистую систему, являются окислительный стресс, системное воспаление, дисфункция эндотелия сосудов [20, 40].

Вместе с тем суровые климатические условия Арктической зоны, в первую очередь холод [7], также являются факторами, способствующими развитию болезней органов дыхания и артериальной гипертензии, прежде всего за счет развития окислительного стресса, дисфункции эпителия слизистых оболочек органов дыхания и эндотелия кровеносных сосудов [13].

Как показали исследования, проведенные на Таймыре и Ямале, распространенность артериальной гипертензии (АГ) среди обследованных пришлых жителей Севера достигает 35 %, при этом 60 % от всех случаев АГ приходится на возраст до 40 лет. Кроме того, в северных регионах Западной Сибири [4] и среди жителей Аляски [36, 37] описана высокая распространенность инсультов. Выявлено, что после 10 лет работы на Севере вероятность развития АГ увеличивается в 3 раза [14]. У вахтовых рабочих в Сибири, часто приезжающих в высокие широты, АГ встречается чаще, чем у населения в местах их постоянного проживания [11]. При этом установлена прямая зависимость между параметрами артериальной жесткости и полярным стажем, которая указывает на быстрое, опережающее возрастные изменения, развитие дисфункции эндотелия сосудов по мере увеличения длительности проживания на Севере.

По данным многих исследователей, одним из основных механизмов повреждения сосудистой стенки у пришлого населения Севера становится неконтролируемое антиоксидантами свободнорадикальное окисление липидов (окислительный стресс) [13].

Многочисленные исследования, направленные на изучение основных механизмов адаптации к холоду, показали, что целью физиологических изменений в этих условиях является увеличение теплопродукции и снижение потерь тепла [8, 19]. Адаптивный термогенез обеспечивается прежде всего за счет появления дрожи и увеличения терморегуляционного мышечного тонуса, а также возрастания степени разобщения окисления и фосфорилирования, роста потребления кислорода и энергетической стоимости поддержания необходимых ионных концентраций [10]. При этом возрастает количество митохондрий и их функциональная активность [2] с целью обеспечения достаточного уровня АТФ в условиях, когда увеличивается часть метаболической энергии, рассеиваемой в виде тепла. Интенсификация окислительных процессов (сокращение окислительных мышечных волокон, увеличение скорости дыхания митохондрий) обуславливает увеличение концентрации активных форм кислорода (АФК), поскольку определенная доля всего кислорода, который проходит через электрон-транспортную систему митохондрий, преобразуется в супероксидный анион радикал [16]. Кроме того, повышение внутриклеточной концентрации ионов

кальция приводит к активации ряда АФК-образующих ферментов. Все это индуцирует компенсаторное усиление антиоксидантной системы [16, 24, 35], однако в условиях длительного (хронического) напряжения функциональные возможности антиоксидантной системы могут оказаться недостаточными, и в этой ситуации развивается окислительный стресс [36, 37].

Необходимо отметить, что в высоких широтах в ряде отраслей (горно-добывающие, металлургические, энергетические, лесозаготовительные и лесохимические предприятия, а также военные базы) многие трудовые процессы протекают на открытом воздухе (строительство, буровые работы, открытая добыча полезных ископаемых и т. д.) при непосредственном воздействии на организм суровых природно-климатических условий [3, 27]. При этом у человека развивается комплекс характерных изменений органов дыхания: появление нарастающей одышки («полярная одышка» [1]) и повышенной утомляемости. Дыхание холодным сухим воздухом (низкое абсолютное содержание водяных паров в воздухе обусловлено вымерзанием влаги) вызывает морфофункциональные изменения органов дыхания: удлинение фазы вдоха для дополнительного согревания и увлажнения вдыхаемого воздуха, увеличение площади альвеолярной поверхности легких и объема легочных капилляров [1, 22]. Увлажнение вдыхаемого воздуха, происходящее в основном в полости носа за счет насыщения его влагой, покрывающей слизистую оболочку, необходимо для адекватного функционирования мерцательного эпителия трахеи, бронхов и дыхательной поверхности альвеол. При дегидратации слизистого слоя, покрывающего реснички, увеличивается вязкость секрета и снижается активность мерцательного эпителия. В обычных условиях растворенные в воде кислород и углекислый газ диффундируют через клеточные мембраны в направлении их меньшей концентрации. При дыхании на холоде, по мнению Б. Т. Величковского [5], для обеспечения достаточной влажности вдыхаемого воздуха направление диффузионных потоков в альвеолярной области легких прямо противоположное. Вода из легочных капилляров просачивается на поверхность слизистой оболочки альвеол, а физически растворенный в ней кислород с поверхности альвеол перемещается в легочные капилляры. Такая встречная диффузия воды и кислорода уменьшает скорость перемещения кислорода через клеточную мембрану и диффузионную способность альвеолярной поверхности по отношению к кислороду, при этом односторонняя диффузия воды и диоксида углерода усиливает гипоканию. Указанные процессы обуславливают характерное для арктического региона ухудшение газообменной функции легких и развития гипоксемии и гипокании. Хронический интерстициальный отек индуцирует фиброзные изменения и снижение функции легких в нижних и базальных отделах. Кроме этого наблюдаются изменения проходимости воздухоносных путей [6]. У большинства обследованных здоровых жителей Арктики регистри-

руется повышение систолического давления в легочной артерии более 30 мм рт. ст. [1, 22]. Длительная гипоксемия, усиливающаяся в холодное время года, повышает уровень свободнорадикальных процессов [5] и способствует развитию окислительного стресса.

Помимо того, что холод является фактором, индуцирующим увеличение активных форм кислорода [5, 17], он вызывает усиление токсических эффектов ряда химических веществ. Поскольку при умеренном охлаждении значительно увеличивается легочная вентиляция [25], для газов, абсорбирующихся в дыхательных путях (например, сернистый ангидрид, фторид водорода и др.), это приводит к увеличению поглощенной дозы. Кроме того, при дыхании холодным воздухом удлинение фазы вдоха способствует увеличению оседания взвешенных частиц.

Вместе с тем, говоря о сочетанном действии холода и загрязнения, необходимо отметить, что холодное воздействие способствует уменьшению накопления в организме токсических веществ, поступающих неингаляционными путями, за счет ускоренного их выведения, поскольку при охлаждении увеличивается почечный кровоток, клубочковая фильтрация и диурез [25]. Эти эволюционно отработанные функциональные изменения обеспечивают, с одной стороны, выведение эндогенных продуктов метаболизма, концентрация которых значительно возрастает при увеличении теплопродукции, а с другой — уменьшение количества жидкости в организме для снижения теплопотерь в условиях охлаждения [10]. Однако в экспериментах на животных показано, что такая активизация экскреционных процессов не компенсирует полностью повышенное поступление взвешенных частиц (оксид никеля) в организм. Кроме того, поскольку при охлаждении повышается функциональная активность надпочечников и уровень их кровенаполнения, возможно, это обуславливает накопление в них токсичных веществ при одновременном действии охлаждения и загрязняющих веществ [25].

По данным В. П. Чашина и Б. Т. Величковского [25], наибольшее усиление острой токсичности наблюдается при холодном воздействии, вызывающем активизацию терморегуляционных механизмов, достаточную для сохранения температуры внутренних органов в обычных пределах (при гипотермии чувствительность организма к острому действию ядов прогрессивно уменьшается). При этом эффективные смертельные дозы для животных уменьшаются в 1,3–1,4 раза (для сернистого ангидрида, окиси углерода и фторида натрия).

В исследовании В. П. Чашина [26] показано, что на предприятиях в Арктической зоне Российской Федерации (Мурманская область) увеличена распространенность и уменьшены сроки развития хронических неспецифических заболеваний легких (в среднем в 1,4 раза), ангиодистоний (в 5,9 раза), заболеваний мышц, суставов, периферических нервов и ганглиев (в 1,8–3 раза) воспалительно-дегенеративных заболеваний верхних дыхательных путей (в

9,7 раза), конъюнктивитов (в 2,1 раза), пародонтоза (в 2,9 раза) по сравнению с подобными предприятиями, расположенными в южных районах страны. При этом необходимо учесть, что население арктического региона в среднем более молодое по сравнению со средним российским [23].

Помимо того, что климатические особенности полярных широт (низкая температура окружающего воздуха и сильные ветры) индуцируют усиление термогенеза и, как следствие, увеличение АФК, а также вызывают адаптационные изменения в дыхательной системе, которые косвенно способствуют усилению негативного влияния загрязнения воздуха [21, 45], холодный климат Арктики во многом является причиной повышенной концентрации загрязняющих веществ. Многие токсиканты, переносимые теплыми воздушными потоками из регионов низких и средних широт, осаждаются при столкновении с холодными арктическими воздушными фронтами. Кроме того, в условиях вечной мерзлоты существенно замедляются процессы самоочищения природных объектов, существенно ограничивается подвижность почвенных растворов и циркуляция поверхностных вод, снижается скорость физико-химических реакций и интенсивность биологической (микробной) деградации и ассимиляции загрязняющих веществ. В связи с этим полярные регионы являются «холодными ловушками» для стойких токсических веществ (СТВ).

Стойкие токсические вещества — это токсические вещества, которым характерны следующие признаки: 1) устойчивость во внешней среде (резистентность к гидролизу, фотолизу, термическому разрушению и, как следствие, длительная персистенция в окружающей среде); СТВ могут десятилетиями сохраняться в окружающей среде и, проходя по пищевым цепочкам, попадать в организм человека; 2) способность переноситься на тысячи километров с атмосферными потоками, речными и океаническими течениями вследствие их низкой растворимости в воде и летучести; 3) способность депонироваться в организме человека и животных (органические загрязнители липофильны и накапливаются прежде всего в жировой ткани), достигая высоких концентраций даже при относительно низких уровнях в окружающем воздухе, почве и воде. [9]. Стойкие токсические вещества могут попадать в организм человека алиментарным, ингаляционным и контактным путем через неповрежденные кожные покровы.

Стойкие токсические вещества обычно разделяют на три основные группы: 1) стойкие органические загрязнители (СОЗ), к числу которых относятся полициклические полигалогенированные углеводороды; 2) металлы (кадмий, свинец, ртуть и др.) и 3) некоторые долгоживущие радионуклиды (Cs^{137} , Sr^{90} , Pb^{210} и др.).

Результаты научных исследований СТВ в циркумполярных регионах, выполненные в рамках Программы арктического мониторинга и оценки (АМАП) [29, 30], показали, что пищевой путь экспозиции к СТВ

через традиционную пищу остается одним из главных факторов риска здоровью коренного населения в Арктике. Высшие звенья арктических пищевых цепей (хищная рыба, птица, наземные и особенно морские млекопитающие), являющиеся традиционными источниками питания многих народностей Арктики, являются накопителями высоких концентраций СТВ, представляющими риск здоровью [28, 29].

Во многих исследованиях было показано, что СТВ обладают канцерогенными свойствами, а также способны нарушать нормальное развитие и функционирование нервной системы, эндокринной системы, репродуктивной функции и вызывать ряд других патологических состояний [33]. Механизмы токсичности диоксинов (большой подгруппы СОЗ) во многом сходны с механизмами действия генотропных гормонов [15], они запускают каскады реакций, способствующих клеточным нарушениям, активируя диоксинчувствительные гены. Направленность клеточных реакций и нарушений (воспаление, проонкогенные реакции, нарушения клеточного деления и т. д.) зависит как от концентрации диоксинов внутри клетки, так и от индивидуальных генетических особенностей. Помимо этого диоксины могут повреждать биологические структуры (липиды, белки, нуклеиновые кислоты, в частности ДНК) опосредованно, за счёт увеличения продукции активных форм кислорода, свободных радикалов [42, 44].

Кроме того, в исследованиях, как клинических, так и экспериментальных, было показано, что СОЗ (тетрахлордибензодиоксин) вызывает повышение уровня холестерина, липопротеидов низкой плотности и триглицеридов в сыворотке крови, что способствует более раннему и выраженному развитию атеросклероза [18]; некоторые СОЗ могут индуцировать воспалительный процесс [18] и вызывать дисфункцию сосудистого эндотелия [32], оказывая прямое повреждающее действие на сосудистую стенку.

Таким образом, проведенные исследования показали, что суровые климатические условия Арктики не только непосредственно влияют на здоровье населения, но и обуславливают повышение как уровня загрязнения воздуха, так и его негативного влияния на здоровье. При этом в организме человека усиливаются окислительные процессы, которые при хроническом воздействии и недостаточном адаптационном потенциале организма могут приводить к развитию окислительного стресса, который, в свою очередь, индуцирует дисфункцию эндотелия сосудов и эпителиальных клеток слизистых оболочек органов дыхания. Одновременное действие холода и загрязнения воздуха, являющихся синергистами, ускоряет развитие заболеваний и старения организма человека в условиях высоких широт, воздействуя в наибольшей степени на заболеваемость болезнями системы кровообращения и органов дыхания. Это делает необходимым разработку: 1) специальных методик и средств для мониторингирования состояния

основных органов-мишеней такого воздействия (сосудистая стенка, органы дыхания) с целью раннего выявления их дисфункции, эти методики и средства должны быть пригодны для использования при обследовании больших контингентов лиц, работающих в условиях Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), и 2) методик диспансерно-динамического наблюдения и медицинской реабилитации, адаптированных к условиям АЗРФ. Кроме того, необходимо проведение научных исследований по дальнейшему изучению влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения и разработку мероприятий, направленных на снижение этого влияния.

Авторство

Все авторы внесли существенный вклад в концепцию обзора и принимали участие в подготовке статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Салтыкова Марина Михайловна — ORCID 0000-0002-1823-8952; SPIN 3310-9270

Бобровницкий Игорь Петрович — SPIN 5160-8631

Балакаева Алиса Викторовна — SPIN 6848-2041

Список литературы

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Марачев А. Г., Милованов А. П. Патология человека на Севере. М., 1985. 415 с.
2. Белоусова Г. П. Окислительный метаболизм митохондрий скелетных мышц крысы при адаптации к холоду // Цитология. 1983. Т. 25, № 1. С. 72–76.
3. Бузинов Р. В., Кикун П. Ф., Унгурияну Т. Н., Ярыгина М. В., Гудков А. Б. От Поморья до Приморья: социально-гигиенические и экологические проблемы здоровья населения: монография. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2016. 397 с.
4. Бутиков В. Н., Заславский А. С., Пенина Г. О. Ишемический инсульт у жителей Европейского Севера: анализ факторов риска // Артериальная гипертензия. 2010. Т. 16, № 4. С. 373–377.
5. Величковский Б. Т. Причины и механизмы снижения коэффициента использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере // Биосфера. 2009. Т. 1, № 2. С. 213–217.
6. Гудков А. Б., Кубушка О. Н. Проходимость воздухоносных путей у детей старшего школьного возраста — жителей Европейского Севера // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 3. С. 84–91.
7. Гудков А. Б., Попова О. Н., Небученных А. А., Богданов М. Ю. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Арктики. Обзор литературы // Морская медицина. 2017. Т. 3, № 1. С. 7–13.
8. Деденко И. И. Изучение теплообмена человека на Крайнем Севере в различных микроклиматических производственных условиях // Гигиена и санитария. 1979. № 3. С. 75–78.
9. Дударев А. А. Персистентные полихлорированные углеводороды и тяжелые металлы в арктической биосфере. Основные закономерности экспозиции и репродуктивное здоровье коренных жителей // Биосфера. 2009. Т. 1, № 2. С. 186–202.
10. Иванов К. П. Основы энергетики организма: теоретические и практические аспекты. Т. 1. Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция. Л.: Наука, 1990.
11. Кривошеиков С. Г., Охотников С. В. Производственные миграции и здоровье человека на Севере. Москва; Новосибирск, 2000. 118 с.
12. Мироновская А. В., Бузинов Р. В., Гудков А. Б. Прогнозная оценка неотложной сердечно-сосудистой патологии у населения северной урбанизированной территории // Здравоохранение Российской Федерации. 2011. № 5. С. 66–67.
13. Никитин Ю. П., Хаснулин Ю. В., Гудков А. Б. Итоги деятельности академии полярной медицины и экстремальной экологии человека за 1995–2015 года: современные проблемы северной медицины и усилия учёных по их решению // Медицина Кыргызстана. 2015. Т. 1, № 2. С. 8–14.
14. Панин Л. Е. Фундаментальные проблемы приполярной и арктической медицины // Бюллетень СО РАМН. 2013. Т. 33, № 6. С. 5–10.
15. Румак В. С., Кхань Ч. К., Кузнецов А. Н., Софронов Г. А., Павлов Д. С. Воздействие диоксинов на окружающую среду и здоровье человека // Вестник РАН. 2009. Т. 79, № 2. С. 124–130.
16. Сазонтова Т. Г., Архипенко Ю. В. Значение баланса прооксидантов и антиоксидантов — равнозначных участников метаболизма // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2007. № 3. С. 2–18.
17. Салтыкова М. М. Адаптация к холоду как средство усиления антиоксидантной защиты // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2017. Т. 103, № 7. С. 712–726.
18. Сергеев А. В. Стойкие органические загрязнители и атеросклероз. Достаточно ли имеющихся фактов, чтобы сделать однозначные выводы? // Кардиология. 2010. № 4. С. 50–54.
19. Скрипаль Б. А., Никанов А. Н., Гудков А. Б., Попова О. Н., Гребеньков С. В., Стурлис Н. В. Состояние центральной и регионарной гемодинамики у работающих при вибрационно-шумовом воздействии на фоне охлаждающего микроклимата подземных рудников Арктической зоны России // Санитарный врач. 2019. № 2. С. 32–37.
20. Табакаев М. В., Артамонова Г. В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на распространенность сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения // Вестник РАМН. 2014. № 3–4. С. 55–60.
21. Унгурияну Т. Н., Новиков С. М., Бузинов Р. В., Гудков А. Б., Осадчук Д. Н. Риск для здоровья населения от химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в городе с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью // Гигиена и санитария. 2010. № 4. С. 21–24.
22. Устюшин Б. В., Деденко И. И. Особенности обеспечения гомеостаза организма человека на Крайнем Севере // Вестник АМН СССР. 1992. № 1. С. 6–10.
23. Федеральная служба государственной статистики, Демографический ежегодник России, 2013. URL: https://gks.ru/bgd/regl/B13_16/Main.htm (дата обращения: 20.02.2020).
24. Хаснулин В. И., Артамонова М. В., Хаснулин П. В. Реальное состояние здоровья жителей высоких широт в неблагоприятных климатогеографических условиях Арктики и показатели официальной статистики здравоохранения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9. С. 68–73.
25. Чащин В. П., Величковский Б. Т. Взаимодействие организма и вредных веществ в условиях холода // Вестник АМН СССР. 1989. № 9. С. 21–26.
26. Чащин В. П., Деденко И. И. Труд и здоровье человека на Севере. Мурманск, 1990. 104 с.

27. Чащин В. П., Сюрин С. А., Гудков А. Б., Попова О. Н., Воронин А. Ю. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.
28. Abass K., Emelyanova A., Rautio A. Temporal trends of contaminants in Arctic human populations // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25, N 29. P. 28834–28850.
29. Adlard B., Donaldson S. G., Odland J. O., Weihe P., Berner J., Carlsen A., Bonefeld-Jorgensen E. C., Dudarev A. A., Gibson J. C., Krümmel E. M., Olafsdottir K., Abass K., Rautio A., Bergdahl I. A., Mulvad G. Future directions for monitoring and human health research for the Arctic Monitoring and Assessment Programme // Glob Health Action. 2018. Vol. 11, N 1. P. 1480084. URL: <https://doi.org/10.1080/16549716.2018.1480084>. (дата обращения: 20.02.2020).
30. AMAP, 2015. AMAP Assessment 2015: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 165 p. URL: <https://www.amap.no/documents/doc/AMAPAssessment-2015-Human-Health-in-the-Arctic/1346> (дата обращения: 20.02.2020).
31. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. WHO, 2016. 121 p.
32. Arzuaga X., Reiterer G., Majkova Z., Kilgore M. W., Toborek M., Hennig B. PPAR α ligands reduce PCB-induced endothelial activation: possible interactions in inflammation and atherosclerosis // Cardiovasc Toxicol. 2007. Vol. 7. P. 264–272.
33. Carpenter D. O. Polychlorinated biphenyls (PCBs): routes of exposure and effects on human health // Rev Environ Health. 2006. Vol. 21. P. 1–23.
34. Cohen A. J., Brauer M., Burnett R., Anderson H. R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B., Dandona L., Dandona R., Feigin V., Freedman G., Hubbell B., Jobling A., Kan H., Knibbs L., Liu Y., Martin R., Morawska L., Pope C. A., Shin H., Straif K., Shaddick G., Thomas M., van Dingenen R., van Donkelaar A., Vos T., Murray C. J. L., Forouzanfar M. H. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 // Lancet. 2017. Vol. 389, N 10082. P. 1907–1918.
35. Gortlach A., Bertram K., Hudecova S., Krizanova O. Calcium and ROS: A mutual interplay // Redox Biol. 2015. Vol. 6. P. 260–271.
36. Harris R., Nelson L. A., Mulle C., Buchwald D. Stroke in American Indians and Alaska Natives: A Systematic Review // Am J Public Health. 2015. Vol. 105. P. e16–e26. Doi: 10.2105/AJPH.2015.302698.
37. Howard B. V., Comuzzie A., Devereux R. B., Ebbesson S. O. E., Fabsitz R. R., Howard J., Laston S., MacCluer J. W., Silverman A., Umans J. G., Wang H., Weissman N. J., Wenger C. R. Cardiovascular disease prevalence and its relation to risk factors in Alaska Eskimos // Nutr Metab Cardiovasc Dis. 2010. Vol. 20. P. 350–358.
38. Lelieveld J., Evans J. S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale // Nature. 2015. Vol. 525. P. 367–371.
39. Lin H., Guo Y., Zheng Y., Di Q., Liu T., Xiao J. Long-Term Effects of Ambient PM_{2.5} on Hypertension and Blood Pressure and Attributable Risk among Older Chinese Adults // Hypertension. 2017. Vol. 69, N 5. P. 806–812.
40. Requia W. J., Adams M. D., Koutrakis P. Association of PM_{2.5} with diabetes, asthma, and high blood pressure incidence in Canada: A spatiotemporal analysis of the impacts of the energy generation and fuel sales // Sci. Total Environ. 2017. Vol. 584–585. P. 1077–1083. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.166. Epub 2017 Feb 4.
41. Scheers H., Jacobs L., Casas L., Nemery B., Nawrot T. S. Long-term exposure to particulate matter air pollution is a risk factor for stroke: meta-analytical evidence // Stroke. 2015. Vol. 46. P. 3058–3066.
42. Senft F. A. P., Dalton T. P., Nebert D. W., Genter M. B., Hutchinson R. J., Shertzer H. G. Dioxin increases reactive oxygen production in mouse liver mitochondria // Toxicol. Appl. Pharmacol. 2002. Vol. 178. P. 15–21.
43. Song C., He J., Wu L., Jin T., Chen X., Li R., Ren P., Zhang L., Mao H. Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China // Environ. Pollut. 2017. Vol. 223. P. 575–586.
44. Stone V., Miller M. R., Clift M. J. D., Elder A., Mills N. L., Moller P., Schins R. P. F., Vogel U., Kreyling W. G., Alstrup Jensen K., Kuhlbusch T. A. J., Schwarze P. E., Hoet P., Pietroiusti A., De Vizcaya-Ruiz A., Baeza-Squiban A., Teixeira J. P., Tran C. L., Cassee F. R. Nanomaterials vs Ambient Ultrafine Particles: an Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge // Environ. Health Perspect. 2016. Doi: 10.1289/EHP424.
45. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry // Epidemiologia and prevenzione. 2010. Vol. 34, iss. 5–6. P. 138.

References

1. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Marachev A. G., Milovanov A. P. *Human pathology in the North*. Moscow, 1985, 415 p. [In Russian]
2. Belousova G. P. Oxidative metabolism of mitochondria of rat skeletal muscles when adapting to cold. *Tsitologiya* [Cytology]. 1983, 25 (1), pp. 72–76. [In Russian]
3. Buzinov R. V., Kiku P. F., Unguryanu T. N., Yarygina M. V., Gudkov A. B. *Ot Pomor'ya do Primor'ya: sotsial'no-gigienicheskie i ekologicheskie problemy zdorov'ya naseleniya* [From Pomorie to Primorye: socio-hygienic and environmental problems of public health]. Arkhangelsk, Publishing house of the Northern State Medical University, 2016, 397 p.
4. Boutiques V. N., Zaslavsky A. S., Penina G. O. Ischemic stroke in residents of the European North: analysis of risk factors. *Arterial Hypertension*. 2010, 16 (4), pp. 373–377. [In Russian]
5. Velichkovsky B. T. The causes and mechanisms of reducing the utilization of oxygen in the human lungs in the Far North. *Biosfera* [Biosphere]. 2009, 1 (2), pp. 213–217. [In Russian]
6. Gudkov A. B., Kubushka O. N. Airway conductance in high school students living in the European North. *Fiziologiya cheloveka*. 2006, 32 (3), pp. 84–91. [In Russian]
7. Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennykh A. A., Bogdanov M. Yu. Ecological and physiological characteristics of the Arctic climatic factors. Review. *Morskaya meditsina* [Marine Medicine]. 2017, 3 (1), pp. 7–13. [In Russian]
8. Dedenko I. I. Study of human heat transfer in the Far North in various microclimatic production conditions. *Gigiena i Sanitariya*. 1979, 3, pp. 75–78. [In Russian]
9. Dudarev A. A. Persistent polychlorinated hydrocarbons and heavy metals in the Arctic biosphere. The main patterns

of exposure and reproductive health of indigenous people. *Biosfera* [Biosphere]. 2009, 1 (2), pp. 186-202. [In Russian]

10. Ivanov K. P. *Fundamentals of body energy: theoretical and practical aspects. Vol. 1. General energy, heat transfer and thermoregulation*. Leningrad, Science Publ., 1990. [In Russian]

11. Krivoshchekov S. G., Okhotnikov S. V. *Production migrations and human health in the North*. Moscow, Novosibirsk, 2000, 118 p. [In Russian]

12. Mironovskaya A. V., Buzinov R. V., Gudkov A. B. Prognostic evaluation of urgent cardiovascular disease in the population of a northern urbanized area. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation]. 2011, 5, pp. 66-67. [In Russian]

13. Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Performance academy polar medicine and extreme human ecology for 1995-2015: modern problems of northern medicine and efforts of scientists to address them. *Meditsina Kyrgyzstana* [Medicine of Kyrgyzstan]. 2015, 1 (2), pp. 8-14. [In Russian]

14. Panin L. E. Fundamental problems of circumpolar and arctic medicine. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 2013, 33 (6), pp. 5-10. [In Russian]

15. Rumak V. S., Kkhan' Ch. K., Kuznetsov A. N., Sofronov G. A., Pavlov D. S. Effect of dioxins on the environment and human health. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2009, 79 (2), pp. 124-130. [In Russian]

16. Sazontova T. G., Arkhipenko Yu. V. The value of the balance of prooxidants and antioxidants - equivalent participants in the metabolism. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimentalnaya Terapiya*. 2007, 3, pp. 2-18. [In Russian]

17. Saltykova M. M. Adaptation to cold as a means of enhancing antioxidant protection. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2017, 103 (7), pp. 712-726. [In Russian]

18. Sergeev A. V. Persistent organic pollutants and atherosclerosis. Are there enough facts to make unambiguous conclusions? *Cardiologiya*. 2010, 4, pp. 50-54. [In Russian]

19. Skripal B. A., Nikanov A. N., Gudkov A. B., Popova O. N., Grebenkov S. V., Sturlis N. V. State of central and peripheral hemodynamics in workers with vibration and noise exposure on the background of the cooling microclimate of underground mines in the Arctic zone of Russia. *Sanitarnyi vrach* [Sanitary Doctor]. 2019, 2, pp. 32-37. [In Russian]

20. Tabakaev M. V., Artamonova G. V. Impact of air pollution with suspended substances on the prevalence of cardiovascular diseases among the urban population. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Meditsinskikh Nauk*. 2014, 3-4, pp. 55-60. [In Russian]

21. Ungurjanu T. N., Novikov S. M., Buzinov R. V., Gudkov A. B., Osadchuk D. N. Public health risk from chemicals, air pollutants in the city with developed pulp and paper industry. *Gigiena i Sanitariya*. 2010, 4, pp. 21-24. [In Russian]

22. Ustyushin B. V., Dedenko I. I. Features of the homeostasis of the human body in the Far North. *Bulletin of the Academy of Medical Sciences of the USSR*. 1992, 1, pp. 6-10. [In Russian]

23. Federal State Statistics Service, Demographic Yearbook of Russia, 2013. Available at https://gks.ru/bgd/regl/B13_16/Main.htm. [In Russian] (accessed: 20.02.2020).

24. Khasnulin V. I., Artamonov M. V., Khasnulin P. V. The real state of health of people living in high latitudes in adverse climatic and geographical conditions of the Arctic and indicators of official health statistics. *Mezhdunarodnyi*

zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Studies]. 2015, 9, pp. 68-73. [In Russian]

25. Chashchin V. P., Velichkovsky B. T. The interaction of the body and harmful substances in cold conditions. *Bulletin of the Academy of Medical Sciences of the USSR*. 1989, 9, pp. 21-26. [In Russian]

26. Chashchin V. P., Dedenko I. I. *Trud i zdorov'e cheloveka na Severe* [Labor and human health in the North]. Murmansk, 1990, 104 p.

27. Chashchin V. P., Sjurin S. A., Gudkov A. B., Popova O. N., Voronin A. Ju. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2014, 9, pp. 20-26. [In Russian]

28. Abass K., Emelyanova A., Rautio A. Temporal trends of contaminants in Arctic human populations. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25 (29), pp. 28834-28850.

29. Adlard B., Donaldson S. G., Odland J. O., Weihe P., Berner J., Carlsen A., Bonefeld-Jorgensen E. C., Dudarev A. A., Gibson J. C., Krümmel E. M., Olafsdottir K., Abass K., Rautio A., Bergdahl I. A., Mulvad G. Future directions for monitoring and human health research for the Arctic Monitoring and Assessment Programme. *Glob Health Action*. 2018, 11 (1), p. 1480084. Available at: <https://doi.org/10.1080/16549716.2018.1480084> (accessed: 20.02.2020).

30. AMAP, 2015. AMAP Assessment 2015: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 165 p. Available at: <https://www.amap.no/documents/doc/AMAPAssessment-2015-Human-Health-in-the-Arctic/1346> (accessed: 20.02.2020).

31. *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. WHO, 2016, 121 p.

32. Arzuaga X., Reiterer G., Majkova Z., Kilgore M. W., Toborek M., Hennig B. PPARalpha ligands reduce PCB-induced endothelial activation: possible interactions in inflammation and atherosclerosis. *Cardiovasc Toxicol*. 2007, 7, pp. 264-272.

33. Carpenter D. O. Polychlorinated biphenyls (PCBs): routes of exposure and effects on human health. *Rev Environ Health*. 2006, 21, pp. 1-23.

34. Cohen A. J., Brauer M., Burnett R., Anderson H. R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B., Dandona L., Dandona R., Feigin V., Freedman G., Hubbell B., Jobling A., Kan H., Knibbs L., Liu Y., Martin R., Morawska L., Pope C. A., Shin H., Straif K., Shaddick G., Thomas M., van Dingenen R., van Donkelaar A., Vos T., Murray C. J. L., Forouzanfar M. H. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017, 389 (10082), pp. 1907-1918.

35. Gorlach A., Bertram K., Hudecova S., Krizanov A. Calcium and ROS: A mutual interplay. *Redox Biol*. 2015, 6, pp. 260-271.

36. Harris R., Nelson L. A., Mulle C., Buchwald D. Stroke in American Indians and Alaska Natives: A Systematic Review. *Am J Public Health*. 2015, 105, pp. e16-e26. Doi:10.2105/AJPH.2015.302698.

37. Howard B. V., Comuzzie A., Devereux R. B., Ebbesson S. O. E., Fabsitz R. R., Howard J., Laston S., MacCluer J. W., Silverman A., Umans J. G., Wang H., Weissman N. J., Wenger C. R. Cardiovascular disease prevalence and its relation to risk factors in Alaska Eskimos. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2010, 20, pp. 350-358.

38. Lelieveld J., Evans J. S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*. 2015, 525, pp. 367-371.

39. Lin H., Guo Y., Zheng Y., Di Q., Liu T., Xiao J. Long-Term Effects of Ambient PM_{2.5} on Hypertension and Blood Pressure and Attributable Risk among Older Chinese Adults. *Hypertension*. 2017, 69 (5), pp. 806-812.

40. Requia W. J., Adams M. D., Koutrakis P. Association of PM_{2.5} with diabetes, asthma, and high blood pressure incidence in Canada: A spatiotemporal analysis of the impacts of the energy generation and fuel sales. *Sci. Total Environ.* 2017, 584-585, pp. 1077-1083. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.166. Epub 2017 Feb 4.

41. Scheers H., Jacobs L., Casas L., Nemery B., Nawrot T. S. Long-term exposure to particulate matter air pollution is a risk factor for stroke: meta-analytical evidence. *Stroke*. 2015, 46, pp. 3058-3066.

42. Senft F. A. P., Dalton T. P., Nebert D. W., Genter M. B., Hutchinson R. J., Shertzer H. G. Dioxin increases reactive oxygen production in mouse liver mitochondria. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2002, 178, pp. 15-21.

43. Song C., He J., Wu L., Jin T., Chen X., Li R., Ren P., Zhang L., Mao H. Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China. *Environ. Pollut.* 2017, 223, pp. 575-586.

44. Stone V., Miller M. R., Clift M. J. D., Elder A., Mills N. L., Moller P., Schins R. P. F., Vogel U., Kreyling W. G., Alstrup Jensen K., Kuhlbusch T. A. J., Schwarze P. E., Hoet P., Pietroiusti A., De Vizcaya-Ruiz A., Baeza-Squiban A., Teixeira J. P., Tran C. L., Cassee F. R. Nanomaterials vs Ambient Ultrafine Particles: an Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge. *Environ. Health Perspect.* 2016. DOI: 10.1289/EHP424.

45. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grjibovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010, 34 (5-6), p. 138.

Контактная информация:

Салтыкова Марина Михайловна — доктор биологических наук, зав. лабораторией экологии человека и общественного здоровья ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес: 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 10, стр. 1
E-mail: Marinams2002@mail.ru