

УДК 614.71
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-1-198-204

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ КАК ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР НАРУШЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Э.Т. Топчубаева, Р.К. Калматов, Ж.К. Муратов

Выполнен анализ литературных данных о различных группах веществ – загрязнителей атмосферы, выступающих в качестве этиологических факторов нарушений состояния здоровья человека и патологии органов дыхания. Указано, что вещества, загрязняющие воздух, подразделяются на две основные категории: первичные загрязнители (вещества, выбрасываемые непосредственно в атмосферу) и вторичные загрязнители (вещества, которые образуются в самой атмосфере). Первичные загрязнители воздуха представлены оксидами азота, монооксидом углерода, диоксидом серы, летучими органическими соединениями, а также углеродистыми и неуглеродистыми твердыми частицами. Вторичные загрязнители включают озон, оксиды азота и твердые частицы. В настоящее время до 90 % представителей городских популяций населения дышат воздухом, загрязненным соединениями, которые проникают глубоко в ткани организма, в первую очередь – в дыхательные пути. В большом количестве исследований показано, что развитие болезней и патологических состояний, обусловленных загрязнением атмосферы, зависит от видов веществ-загрязнителей, их физико-химических характеристик, в частности размеров частиц и концентраций в окружающей среде. Безусловно, загрязнение воздушного пространства увеличивает заболеваемость респираторной патологией. По разным оценкам, до 43 % заболеваний легких и 24 % инсультов связаны с загрязнением воздуха. Указана важность информирования населения об особенностях загрязнения атмосферы. Необходимы постоянный контроль состава атмосферы и оценка качества воздуха. Разработка комплекса необходимых организационных и медицинских мероприятий должна стать важнейшим направлением государственной политики, направленной на сохранение здоровья населения.

Ключевые слова: загрязнения атмосферы; заболевания органов дыхания; состояние здоровья; оксиды азота; монооксид углерода; диоксид серы; твердые частицы.

АТМОСФЕРАНЫН БУЛГАНЫШЫ АДАМДЫН ДЕН СОЛУГУНУН БУЗУЛУШУНУН ЭҢ МААНИЛҮҮ ФАКТОРУ КАТАРЫ

Э.Т. Топчубаева, Р.К. Калматов, Ж.К. Муратов

Адамдын ден соолугунун бузулушунун жана дем алуу органдарынын патологиясынын этиологиялык факторлорунун ролун аткарган заттардын ар кандай топтору – атмосфераны булгоочу заттар жөнүндө адабияттардын маалыматтарына талдоо жүргүзүлдү. Атмосфераны булгоочу заттар эки негизги категорияга бөлүнөрү көрсөтүлгөн: биринчи категориядагы булгоочу заттар (атмосферага түз бөлүнүп чыгуучу заттар) жана экинчи категориядагы булгоочу заттар (атмосферанын өзүндө пайда болгон заттар). Негизги абаны булгоочу заттарга азот оксиддери, көмүртек кычкылы, күкүрттүн диоксиди, учуучу органикалык бирикмелер, көмүртек жана көмүртек эмес бөлүкчөлөр кирет. Экинчи категориядагы булгоочу заттарга озон, азот оксиддери жана бөлүкчөлөр кирет. Азыркы учурда шаар калкынын 90 % га жакыны организмдин ткандарына, биринчи кезекте дем алуу жолдоруна кирген кошулмалар менен булганган аба менен дем алышат. Көптөгөн изилдөөлөр атмосферанын булганышынан келип чыккан оорулардын жана патологиялык шарттардын өнүгүшү булгоочу заттардын түрлөрүнө, алардын физикалык-химиялык мүнөздөмөлөрүнө, атап айтканда, айлана-чөйрөдөгү бөлүкчөлөрдүн өлчөмдөрүнө жана концентрацияларына көз каранды экендигин көрсөттү. Албетте, абанын булганышы дем алуу органдарынын патологиясын көбөйтөт. Ар кандай эсептөөлөр боюнча өпкө ооруларынын 43 %, инсульттун 24 %ы абанын булганышы менен байланыштуу. Атмосферанын булганышынын өзгөчөлүктөрү жөнүндө калкка маалымат берүүнүн маанилүүлүгү көрсөтүлгөн. Атмосферанын курамына дайыма көз салып, абанын сапатын баалоо зарыл. Зарыл уюштуруучулук жана медициналык чаралардын комплексин иштеп чыгуу калктын саламаттыгын сактоого багытталган мамлекеттик саясаттын эң маанилүү багыты болуп калууга тийиш.

Түйүндүү сөздөр: абанын булганышы; дем алуу органдарынын оорулары; ден соолугунун абалы; азот оксиддери; көмүртек кычкылы; күкүрт диоксиди; катуу бөлүкчөлөр.

ATMOSPHERIC POLLUTION AS THE MOST IMPORTANT FACTOR OF HUMAN HEALTH DISORDERS

E.T. Topchubaeva, R.K. Kalmatov, Zh.K. Muratov

The analysis of literature data on various groups of substances including atmospheric pollutants, acting as etiological factors of disorders of human health and respiratory system pathology, is performed. It was noted that air pollutants fall into two main categories: primary pollutants (substances emitted directly into the atmosphere) and secondary pollutants (substances that form in the atmosphere itself). Primary air pollutants include nitrogen oxides, carbon monoxide, sulfur dioxide, volatile organic compounds, carbon and non-carbon particulates. Secondary pollutants include ozone, nitrogen oxides and particulate matter. Currently, up to 90 % of representatives of urban populations of the population breathe air, contaminated compounds that penetrate deep into the tissues of the body, primarily into the respiratory tract. A large number of studies have shown that the development of diseases and pathological conditions caused by air pollution depends on the types of pollutants, their physicochemical characteristics, in particular, particle sizes and concentrations in the environment. Of course, air pollution increases the incidence of respiratory diseases. According to various estimates, up to 43 % of lung diseases and 24 % of strokes are associated with air pollution. The importance of informing the population about the peculiarities of atmospheric pollution is indicated. Constant monitoring of the composition of the atmosphere and assessment of air quality is required. The development of a set of necessary organizational and medical measures should become the most important direction of state policy aimed at preserving the health of the population.

Keywords: air pollution; respiratory diseases; health status; nitrogen oxides; carbon monoxide; sulfur dioxide; particulate matter.

Введение. Загрязнение воздуха представляет собой один из наиболее серьезных факторов риска развития нарушений состояния здоровья человека, который оказывает влияние на людей разных возрастных групп во многих странах и регионах. Причиной глобального потепления является увеличение содержания пыли, углекислого газа (CO_2), метана (CH_4), закиси азота (N_2O), фреонов (хлорфторуглеродов) технического происхождения и других газов, паров воды, которые препятствуют длинноволновому тепловому излучению с поверхности Земли, создавая дополнительный парниковый эффект [1]. Важнейшими последствиями влияния этого фактора на человека является повышение подверженности организма развитию таких заболеваний, как хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), рак легкого, респираторные инфекции, приводящие к развитию пневмонии, а также сердечно-сосудистые заболевания [2].

Считается, что в настоящее время до 90 % представителей городских популяций населения дышат воздухом, загрязненными соединениями, которые проникают глубоко в ткани организма, в первую очередь – в дыхательные пути. В наибольшей степени подвержены воздействию этих веществ люди пожилого возраста, младенцы, беременные женщины и лица с сопутствующими заболеваниями. По разным оценкам, до 43 %

заболеваний легких и 24 % инсультов связаны с загрязнением воздуха.

Цель работы – анализ литературных данных о различных группах веществ – загрязнителей атмосферы, выступающих в качестве этиологических факторов нарушений состояния здоровья человека и патологии органов дыхания.

Вещества, загрязняющие воздух, подразделяются на две основные категории: первичные загрязнители (вещества, выбрасываемые непосредственно в атмосферу) и вторичные загрязнители (вещества, которые образуются в самой атмосфере). Первичные загрязнители воздуха поступают в атмосферу путем прямых выбросов из таких источников, как выхлопные трубы мобильных транспортных средств или из стационарных источников, например, заводских дымоходов. Массы воздуха с повышенным содержанием такого рода веществ могут распространяться ветром в незагрязненные районы.

Первичные загрязнители воздуха представлены оксидами азота, монооксидом углерода (CO), диоксидом серы (SO_2), летучими органическими соединениями (ЛОС), а также углеродистыми и неуглеродистыми твердыми частицами (PM).

Из большого количества источников первичных загрязнителей воздуха наиболее значимыми являются автомобильное движение и тепловые электростанции. Повышению степени

загрязнения атмосферы способствует также отопление промышленных и жилых зданий, в том числе путем использования энергии сжигания дров, угля, нефтепродуктов.

Вторичные загрязнители воздуха образуются в результате химических реакций в атмосфере с такими природными компонентами, как вода и кислород. Эти загрязнители включают озон (O₃), оксиды азота и твердые частицы [3].

Наблюдается сезонная зависимость уровня загрязнений атмосферы, при этом более высокие среднесуточные уровни диоксида азота (NO₂), СО, более крупных (PM₁₀) и мелких твердых частиц (PM_{2,5}) отмечаются в холодное время года, в то время как уровни концентрации O₃, как правило, выше в теплое время года.

Влияние загрязнителей на состояние здоровья человека может быть как кратко-, так и долгосрочным. В исследовании, проведенном Lin C. et al. (2019), была установлена сильная корреляция между дозами частиц угля, которые вдыхает человек, и повышением уровня относительного риска развития рака легких. Развитие опухолей наблюдалось в 85 % случаев у женщин и у 59 % мужчин, подвергающихся действию высоких концентраций указанных загрязнителей в атмосфере. Основываясь на этих данных, прогнозируется, что в 2025 г. 1,37 млн случаев рака легких будут ассоциированы с выбросами тепловых электростанций, работающих на угле [4].

Двуокись серы (SO₂) образуется в процессе сжигания топлива и представляет собой основные компоненты загрязнения воздуха. Основные антропогенные источники SO₂, в основном, находятся в развивающихся странах [5]. В помещениях концентрация диоксида серы, как правило, ниже, чем на открытых пространствах, за счет его поглощения стенами, мебелью и вентиляционными системами. В результате процесса окисления SO₂ образуются сернистая и серная кислоты. Высокие уровни этих загрязнителей наблюдаются в крупных мегаполисах, где уголь используется для отопления жилых помещений, а также при плохо контролируемом сжигании в промышленных установках. Показано, что обострение симптомов заболеваний дыхательной системы часто связано с воздействием SO₂, выбрасываемого угольными электростанциями.

Диоксид азота. Наиболее важным из оксидов азота в отношении влияния на здоровье человека является NO₂, представляющий собой газ коричневого цвета с сильным запахом. Диоксид азота образуется самопроизвольно при контакте оксида азота с воздухом, является мощным окислителем, который при реакции с водой образует азотную кислоту и оксид азота, поглощает солнечную радиацию, и играет непосредственную роль в глобальном изменении климата.

NO₂ подвергается дальнейшим превращениям и после того, как последовательность фотохимических реакций инициируется его активацией, вызванной солнечным излучением, образуются другие продукты загрязнения, содержащие органические, нитратные и сульфатные частицы, которые квалифицируются как PM_{2,5} и PM₁₀. Образованию оксида азота способствуют молнии, извержения вулканов. Основными антропогенными источниками являются мобильные (двигатели внутреннего сгорания) и стационарные источники сгорания (источники выработки энергии).

Показано, что воздействие NO₂ на организм способствует повышенному риску госпитализации пациентов с бронхиальной астмой и хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) [6]. Проведенный китайскими авторами мета-анализ показал наличие положительной корреляции между повышенными уровнями NO₂ в окружающей среде и частотой развития заболеваний органов дыхания. Исследователи показали, что увеличение концентрации NO₂ на 10 мкг/м³ связано с увеличением на 1,4 % смертности вследствие респираторных заболеваний и частоты госпитализаций на 1,0 %.

Моноксид углерода. Основным источником СО в окружающей среде является неполное сгорание ископаемого топлива в двигателях внутреннего сгорания, что обуславливает более 50 % выбросов в городах, в меньшей степени уровни этого загрязнителя в атмосфере обусловлены производственными процессами. Окись углерода называют «тихим убийцей», что обусловлено токсичностью этого вещества, связанной с его способностью более сильно связывать гемоглобин по сравнению с кислородом, что

способствует развитию гипоксии и нередко увеличивает риск смертельных отравлений.

Показано, что частота заболеваемости бронхиальной астмой, пневмонией и выявления бронхоэктазов связана с периодическими воздействиями СО окружающей среды на человека. Так, в исследовании Zhao et al. (2019), проводившемся в течение 4 лет, было показано, что при среднем дневном уровне СО 0,88 мг/м³ (от 0,40 до 3,13 мг/м³) наблюдается повышение обращаемости в лечебные учреждения в связи с симптомами респираторных заболеваний. Это влияние, как установлено, является более выраженным в отношении женщин и людей старших возрастных групп [7].

Летучие органические соединения (ЛОС) представляют собой вещества, содержащие атомы углерода, которые поступают в атмосферу в составе паров. Основными их компонентами являются углеводороды, оксигенаты, галогенаты и другие соединения углерода. Наличие ЛОС в атмосфере может быть обусловлено как естественными причинами (источники – лесные пожары, растительность и животные), так и вследствие техногенных загрязнений – например, от работы двигателей транспортных средств. Доля природных источников ЛОС в целом выше, однако антропогенные источники вносят значительный вклад в снижение качества атмосферного воздуха.

Важнейшими источниками выбросов ЛОС являются промышленные предприятия и сельскохозяйственная деятельность. Изучение образцов дорожной пыли или почвы, показало, что в них, как правило, содержатся такие ЛОС, как бензол, толуол, стирол, этилбензол и ксилол, а также алифатические углеводороды (в основном n-алканы), дихлорметан и дисульфид углерода [8].

Воздействие низких уровней ЛОС на организм сопровождается окислительным стрессом и нарушениями функций органов дыхания. При повышенных уровнях ЛОС в дыхательных путях нередко развивается воспалительный процесс [9].

Исследование Billionnet et al. (2011), проведенное специалистами Обсерватории качества воздуха в помещении, показало, что уровни

n-ундекана (органическое соединение, углеводород из класса алканов с общей формулой C₁₁H₂₄) и 1,2,4-триметилбензола коррелировали с частотой проявлений бронхиальной астмы у обследуемых лиц в 8,6 % случаев, в то время как наличие таких ЛОС, как трихлорэтилен, этилбензол и о-ксилол было связано с повышением частоты развития ринита [10].

Во французском поперечном исследовании был продемонстрирован определенный риск воздействия ЛОС на лиц, занятых в сельском хозяйстве. При этом была отмечена вероятность действия этих соединений на человека в условиях работы с сельскохозяйственной техникой, растениями, различными органическими соединениями. У обследованных лиц была отмечена повышенная частота развития респираторных симптомов, таких как одышка, кашель, чихание и хрипы. Эти проявления были выявлены у 44 % людей при манипуляциях во время сбора урожая различных культур растений.

Озон (O₃) – химическое соединение, которое образуется в атмосфере в результате ряда сложных реакций. После распада NO₂ образуются атомарный кислород и оксид азота. Атомарный кислород соединяется с кислородом. Далее озон распадается при реакции с оксидом азота, в результате чего образуются NO₂ и кислород. Концентрация озона в окружающей среде зависит от ряда факторов: уровней NO₂ и ЛОС, интенсивности солнечной радиации, атмосферной конвекции и соотношения уровней ЛОС и концентраций оксидов азота [11].

Суточные концентрации загрязнителей воздуха выше в прохладное время года, чем в теплое, за исключением O₃, уровень которого, напротив, выше в теплое время года. Концентрация озона может увеличиваться в конце весны и в летние месяцы из-за фотохимических реакций. Следует отметить, что высокие концентрации O₃ могут быть связаны с различными локальными, а также далеко происходящими антропогенными выбросами.

В США и странах Европейского союза приземный озон считается одним из самых опасных загрязнителей воздуха, поскольку является сильным окислителем. В последние годы уровни O₃ в атмосфере остаются высокими, что является

существенной проблемой для общественного здравоохранения, особенно в связи с развитием глобального потепления.

Воздействие озона на человека ассоциировано с повышенным риском развития болезней органов дыхания, таких как обострение бронхиальной астмы, воспаление легких, муковисцидоз [12]. Показано, что, поступая в церебральные кровеносные сосуды, это вещество модулирует экспрессию генов, участвующих в вазореактивности мозга, влияет на уровни серотонина и функцию иммунной системы.

Твердые частицы. Потенциал травмирования дыхательных путей этими веществами зависит от их химического состава и источника. Обычно частицы классифицируются по аэродинамическому диаметру. Твердые частицы обычно можно разделить на три основные фракции: крупные частицы – с аэродинамическим диаметром более 2,5 мкм, мелкие – размером менее 2,5 мкм и сверхмелкозернистые (ультратонкие, «ultrafine») – размером менее 0,1 мкм (100 нм).

Основные исходные газы – прекурсоры образования – представлены оксидами азота, аммиаком, SO₂ и ЛОС. В то же время колебания концентраций этих соединений могут изменить уровни твердых веществ в окружающей среде.

Продукты сжигания биомассы также представляют серьезную проблему для общественного здравоохранения. Уголь и органическое топливо используют до 3 млрд человек во всем мире [13], при этом для отопления и приготовления пищи применяются такие виды топлива, как «дымный уголь» (битуминозный), «бездымный уголь» (антрацит) и дерево.

При сжигании дымного угля образуются такие вещества, как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), метилированные ПАУ и гетероциклические ароматические соединения, содержащие азот. Установлено, что после неполного сгорания твердого топлива образуется значительное токсичных компонентов. При поступлении в дыхательные пути человека эти вещества вызывают проявления ряда респираторных симптомов, включающих кашель, заложенность носа, голосовую дисфункцию, ринорею, спазм гортани. Также могут отмечаться

симптомы поражения нижних дыхательных путей – одышка, хрипы и кашель [14].

К настоящему времени установлено, что с воздействием веществ, представленных в дымах при сжигании твердого топлива, связано развитие таких заболеваний, как рак легких, хроническая обструктивная болезнь легких и респираторные инфекции. Было отмечено, что смертность от рака легких выше в популяциях людей, которые употребляют на протяжении жизни «дымный» древесный уголь, чем у тех, кто использует бездымный древесный уголь. В популяциях, обследованных этими авторами 9962 человека использовали бездымный уголь, 27310 – дымный («битумный») уголь. Показано, что абсолютный риск смерти от рака легких у лиц, употреблявших дымный уголь, несколько выше у женщин (20 %), чем у мужчин (18 %). В то же время доля лиц, у которых развился рак легких, использовавших бездымный древесный уголь, составила 0,5 %.

Установлено, что нарушения функции органов дыхания начинают проявляться через 15 лет постоянного воздействия дыма на организм, при этом вероятность развития патологии возрастает с увеличением продолжительности воздействия. В сельской местности женщины, как правило, подвергаются большему воздействию вследствие особенностей своего образа жизни. В исследовании «случай – контроль» из 115 женщин, подвергавшихся регулярному воздействию дыма от сжигания биомассы, у 23,8 % выявлялись признаки заболеваний органов дыхания легкой степени тяжести, 19,1 % имели признаки обструкции дыхательных путей, у 17,3 % были выявлены определенные нарушения функции легких.

Заключение. Следует отметить важность информирования населения об особенностях загрязнения атмосферы. Эта информация должна быть бесплатной и легкодоступной, особенно в случаях, когда необходимым является снижение активности людей на открытом воздухе в периоды повышенных уровней загрязнения воздуха.

В исследовании, проведенном Graff J., Neidell M. (2009) было обнаружено, что при предупреждении населения о смоге в Лос-Анджелесе физическая активность на открытом

воздухе и посещения зоопарка снизилась на 8 и 15 %, соответственно [15]. В то же время при повторе подобных предупреждений люди все меньше принимают их во внимание. Эти предупреждения следует повторять как можно чаще, они должны представлять особый интерес для пациентов с сердечно-легочной патологией. Безусловно, подобная информация является важной и для здоровых лиц, у которых впоследствии могут развиваться хронические заболевания.

Важнейшим аспектом является планирование развития городов, при котором необходимо предусматривать, что степень загрязнения атмосферы не должна влиять на качество жизни населения. Одним из приоритетных направлений государственной политики должны стать мероприятия по снижению степени загрязнения воздуха [16].

Крайне важной в решении рассматриваемой проблемы является роль медицинского персонала, который должен разъяснять, например, больным бронхиальной астмой, необходимость избегания или снижения контакта с аэроаллергенами. Пациентов с хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы и болезнями органов дыхания необходимо также информировать о степени загрязнения воздуха и влиянии этих загрязнений атмосферы на состояние их здоровья. Пациентов необходимо информировать о возможности сверяться с индексом качества воздуха (AQI), в том числе и для того, чтобы своевременно отказаться от занятий на свежем воздухе при низких значениях этого показателя.

Необходимо также отметить и возможность применения средств индивидуальной защиты, в частности масок, что обеспечивает снижение вдыхания вредных веществ. В то же время не все маски являются одинаково эффективными, что определяется как типом этого средства защиты, так имеющимся в ней фильтром.

Таким образом, в настоящее время является общепризнанным существенное влияние загрязнений атмосферы на состояние системы дыхания человека, признана роль большого числа веществ в качестве этиологических факторов развития ряда заболеваний. В большом количестве исследований показано, что развитие болезней и патологических состояний, обусловленных

загрязнением атмосферы, зависит от видов веществ-загрязнителей, их физико-химических характеристик, в частности от размеров частиц и концентраций в окружающей среде. Безусловно, загрязнение воздушного пространства увеличивает заболеваемость респираторной патологией. В связи с этим крайне важными являются постоянное осуществление контроля состава атмосферы и оценка качества воздуха, а также усилия, направленные на его улучшение. Разработка комплекса соответствующих организационных и медицинских мероприятий, безусловно, будет способствовать улучшению состояния здоровья населения.

Литература

1. *Баришполец, В.А.* Анализ глобальных экологических проблем / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 3 (1). 2011. С. 79–96. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-globalnyh-ekologicheskikh-problem> (дата обращения: 08.07.2021).
2. *Ватутин Н.Т.* Хроническая обструктивная болезнь легких: определение, эпидемиология, патофизиология, клиника и лечение / Н.Т. Ватутин, А.С. Смирнова, Г.Г. Тарадин // Архив внутренней медицины. 2015. № 6. С. 3–13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/hronicheskaya-obstruktivnaya-bolezn-legkih-opredelenie-epidemiologiya-patofiziologiya-klinika-i-lechenie-peresmotr-rekomendatsiy> (дата обращения: 08.07.2021).
3. Качество атмосферного воздуха и здоровье. URL: [https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 10.08.2021).
4. *Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., & Bezirtzoglou E.* (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review // *Frontiers in public health*, 8, 14.
5. *Акимов В.С.* Диоксид серы и основные источники загрязнения атмосферы диоксидом серы / В.С. Акимов // Научный журнал. 2017. № 6-1 (19). С. 18–20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dioksid-sery-i-osnovnye-istochniki-zagryazneniya-atmosfery-dioksidom-sery> (дата обращения: 08.07.2021).
6. *Гноевых В.В.* Принципы и современные схемы лечения хронической обструктивной болезни легких / В.В. Гноевых // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 2. С. 14–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/>

- printsipy-i-sovremennye-shemy-lecheniya-hronicheskoy-obstruktivnoy-bolezni-legkih (дата обращения: 08.07.2021).
7. Hirata C., Kenzaka T., Akita H. Late onset of hemolytic uremic syndrome after the appearance of prodromal gastrointestinal tract symptoms // *Clin Case Rep.* 2020; 8 (10):1910–1913.
 8. Montero-Montoya R., López-Vargas R., Arellano-Aguilar O. Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children // *Ann Glob Health.* 2018; 84 (2): 225–238.
 9. Kwon J.W., Park H.W., Kim W.J., Kim M.G., Lee S.J. Exposure to volatile organic compounds and airway inflammation // *Environ Health.* 2018; 17 (1): 65.
 10. Breysse P.N., Diette G.B., Matsui E.C., Butz A.M., Hansel N.N., McCormack M.C. Indoor air pollution and asthma in children // *Proc Am Thorac Soc.* 2010; 7 (2): 102–106.
 11. Berezina, Elena; Moiseenko, Konstantin; Skorokhod, Andrei; Pankratova, Natalia V.; Belikov, Igor; Belousov, Valery; Elansky, Nikolai F. 2020. Impact of VOCs and NOx on Ozone Formation in Moscow // *Atmosphere* 11, no. 11: 1262.
 12. Farhat S.C.L., Almeida M.B., Silva-Filho L.V.R.F., Farhat J., Rodrigues J.C., Braga A.L.F. Ozone is associated with an increased risk of respiratory exacerbations in patients with cystic fibrosis // *Chest.* 2013 Oct; 144 (4): 1186–1192. DOI: 10.1378/chest.12-2414.
 13. Seow W.J., Downward G.S., Wei H., Rothman N., Reiss B., Xu J., Bassig B.A., Li J., He J., Hosgood H.D., Wu G., Chapman R.S., Tian L., Wei F., Caporaso N.E., Vermeulen R., Lan Q. Indoor concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide from burning solid fuels for cooking and heating in Yunnan Province, China // *Indoor Air.* 2016 Oct; 26 (5):776–83.
 14. Аллергический ринит. URL: <https://www.smclinic-spb.ru/doctor/allergolog-immunolog/zabolevania/2748-allergicheskiy-rinit> (дата обращения: 10.08.2021).
 15. Bălă G.P., Râjnoveanu M., Tudorache E. et al. Air pollution exposure – the (in)visible risk factor for respiratory diseases // *Environ Sci Pollut Res* 28. (2021). 19615–19628.
 16. Kelishadi R., Poursafa P. Air pollution and non-respiratory health hazards for children // *Arch Med Sci.* (2010) 6: 483–95.