

О. Н. Петровская, Н. А. Юзефович, А. Г. Кадушкин

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОГО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА РАЗВИТИЕ АЛЛЕРГИЧЕСКОГО РИНИТА И ИНТЕРСТИЦИАЛЬНЫХ ЛЕГОЧНЫХ БОЛЕЗНЕЙ

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
Минск, Республика Беларусь*

В обзоре рассматривается влияние основных загрязнителей атмосферного воздуха на развитие аллергического ринита (АР) и интерстициальных легочных болезней (ИЛБ). Проанализированы доступные отечественные и зарубежные источники литературы, на основании чего определены доминирующие загрязнители воздушной среды, влияющие на развитие, обострение и прогрессирование данных патологий. Предложен комплекс мероприятий по повышению качества медицинской профилактики, что позволит минимизировать неблагоприятное влияние загрязненного атмосферного воздуха на здоровье населения. Обосновано увеличение количества проспективных исследований, оценивающих эффективность мероприятий, направленных на медицинскую профилактику развития и прогрессирования заболеваний дыхательных путей.

Ключевые слова: атмосферный воздух, источники загрязнения, аллергический ринит, интерстициальные легочные болезни, твердые частицы.

O. N. Petrovskaya, N. A. Yuzefovich, A. G. Kadushkin

EFFECT OF AIR POLLUTION ON THE DEVELOPMENT OF ALLERGIC RHINITIS AND INTERSTITIAL LUNG DISEASES

Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

The review examines the impact of major air pollutants on the development of allergic rhinitis and interstitial pulmonary diseases. Available domestic and foreign literature sources have been analyzed and summarized, on the basis of which the dominant air pollutants influencing the development, exacerbation and progression of these pathologies have been identified. A set of measures has been proposed to improve the quality of medical prevention, which will minimize the adverse impact of polluted air on public health. An increase in the number of prospective studies evaluating the effectiveness of measures aimed at medical prevention of the development and progression of respiratory diseases is justified.

Key words: atmospheric air, sources of pollution, allergic rhinitis, interstitial pulmonary diseases, particulate matter.

Состояние окружающей среды является важнейшим фактором, влияющим на здоровье населения, в связи с чем проблема антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на сегодняшний день является особенно актуальной [4, 6]. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 90 % населения во всем мире ежедневно вдыхает воздух, не отвечающий требованиям гигиенических нормативов ввиду загрязнения различными примесями и соединениями [2, 3]. В последние десятилетия из-за хозяйственной, социально-политической, экологической и технической деятельности состояние окружающей

среды претерпевает глубокие изменения, которые непосредственно или косвенно влияют на здоровье человека. В большинстве стран СНГ, включая Российскую Федерацию, Республику Беларусь, Казахстан, отмечается высокий уровень загрязнения воздушной среды, особенно в крупных промышленных центрах и мегаполисах. В условиях стремительно развивающейся урбанизации основными источниками загрязнения воздуха являются энергетический сектор, выбросы от сжигания ископаемого топлива и лесных пожаров, металлургии и химической промышленности [7, 9]. Все вышеперечисленное приводит к насыщению воз-

душного бассейна химическими соединениями, негативно влияющими на здоровье людей. Загрязнение атмосферного воздуха является второй по значимости причиной смерти от неинфекционных заболеваний (НИЗ) после курения табака и вторым по значению фактором риска развития НИЗ [2, 25]. В первую очередь с загрязнителями контактирует респираторный тракт, что обуславливает развитие заболеваний дыхательных путей, таких как аллергический ринит (АР), интерстициальные легочные болезни (ИЛБ), астма, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ). При этом от респираторных заболеваний чаще страдает население крупных городов, где регистрируется особенно высокий уровень загрязнителей атмосферного воздуха, чем жители сельских районов [5, 34]. В литературе приводится несколько основных механизмов влияния загрязнителей воздуха на организм человека: воздействие на клетки иммунной системы, стимуляция выработки специфических иммуноглобулинов класса E (IgE), нарушение функции эпителиального барьера, модификация иммунного потенциала пылицы [8]. Загрязнение воздуха может быть причиной повышения концентрации пылевых аллергенов, к которым сенсibilизированы пациенты, что позволяет предположить возможную причину роста распространенности аллергических болезней во всем мире, особенно среди детского населения. Данный факт был подтвержден в недавнем проспективном исследовании [17] с участием 1900 детей, проживающих в Швеции, где ученые подтвердили влияние взвешенных твердых частиц окружающей среды на развитие аллергических заболеваний уже к 8 годам жизни. Важно упомянуть, что неблагоприятные факторы внешней среды также повышают вероятность развития и прогрессирования бронхолегочных заболеваний у генетически предрасположенных лиц по развитию данной патологии [27].

Таким образом, современные исследования демонстрируют, что в условиях высоких темпов урбанизации и роста экологического неблагополучия одним из ведущих этиологических факторов заболеваний дыхательных путей становится загрязнение воздуха. В настоящей статье мы проанализировали и обобщили доступные данные отечественной и зарубежной литературы об основных загрязнителях атмосферного воздуха и их влиянии на дыхательную систему, в частности, на развитие АР и ИЛБ.

Поиск информации проводили с использованием 6 баз данных: Академия Google, PubMed, Scopus, E-Library, CrossRef, BioMed Central, а также среди отчетов и статистических данных официального сайта ВОЗ. Анализировали полнотекстовые

оригинальные и обзорные статьи, опубликованные на русском и английском языках, в течение 24 лет – с 2000 по 2024 год. Критериями исключения публикаций из анализа были статьи с результатами данных, полученных до 2000 года, статьи, не соответствующие цели настоящей работы, а также статьи закрытого доступа.

Обсуждение. Загрязнители воздушного бассейна могут иметь как локальные (например, ухудшение качества воздуха в городах), так и глобальные последствия (изменение климата, разрушение озонового слоя). Увеличение концентрации токсичных веществ в воздухе является одной из ключевых причин ухудшения здоровья населения, особенно в контексте респираторных заболеваний [3, 11, 25]. Взвешенные твердые частицы (англ. particulate matter) являются ключевыми загрязнителями воздуха, которые существенно влияют на здоровье людей. В зависимости от размера выделяют две основные фракции твердых частиц – $ТЧ_{2,5}$ и $ТЧ_{10}$. По химическому составу $ТЧ_{2,5}$ (мелкие частицы диаметром 2,5 микрометра и меньше) представляют собой смесь различных веществ: органических соединений, в том числе полициклических ароматических углеводородов, которые могут иметь канцерогенные свойства; металлов, обладающих токсическим эффектом; неорганических соединений, которые могут вызывать раздражение слизистых оболочек и воспаление; углеродистых частиц и др. [14, 16]. Негативные последствия воздействия $ТЧ_{2,5}$ во многом обусловлены их способностью преодолевать барьерные механизмы защиты дыхательной системы организма, такие как реснички, волоски внутри носа, слизистый слой, благодаря чему они проникают глубоко в дыхательную систему, вплоть до альвеол лёгких. Кроме того, эта пыль настолько легка, что может сутками оставаться в воздухе, преодолевать с воздушными массами большие расстояния, оказывать воздействие на здоровье людей, проживающих далеко от мест первичного выброса. В отчете, опубликованном Health Effects Institute [5], представлены данные исследования «Глобальное бремя болезней» за 2021 год, которые свидетельствуют о серьезном воздействии мелкодисперсных твердых частиц $ТЧ_{2,5}$ на здоровье человека. Полагают, что $ТЧ_{2,5}$ явились причиной 7,0 миллионов преждевременных смертей по всему миру в 2016 году. Официальные данные ООН за 2023 год демонстрируют, что многие регионы с низким и средним уровнем дохода, особенно в Южной и Юго-Восточной Азии, сталкиваются с самыми высокими концентрациями этих загрязнителей, значительно превышающими рекомендации ВОЗ по безопасности качества воздуха [31]. Концентрация $ТЧ_{2,5}$ особенно высока в урбани-

зированных и промышленных регионах Индии, Китая и Бангладеша [35].

В литературе имеются данные о взаимосвязи развития острых и хронических заболеваний дыхательных путей и наличия в атмосферном воздухе $ТЧ_{2,5}$ в концентрациях, превышающих рекомендованные допустимые значения. В клетках человека $ТЧ_{2,5}$ индуцируют окислительный стресс и воспалительную реакцию, что приводит к снижению их функции. Поскольку $ТЧ_{2,5}$ преимущественно оседают в нижних дыхательных путях, то они способны провоцировать обострения хронической бронхолегочной патологии (ХОБЛ, астма, бронхиты и др.). Канцерогенные частицы, входящие в состав $ТЧ_{2,5}$, увеличивают риск развития злокачественных опухолей, особенно рака лёгких [14, 16, 24]. Мелкие частицы $ТЧ_{2,5}$ могут проникать и в кровоток, где за счет образования активных форм кислорода способствуют развитию васкулитов и образованию атеросклеротических бляшек, повышая риск тромбозов и инсультов. Кроме того, $ТЧ_{2,5}$ индуцируют секрецию медиаторов иммунокомпетентными клетками крови, усиливая воспалительную реакцию и провоцируя развитие обострений хронических бронхолегочных заболеваний [29]. В отличие от $ТЧ_{2,5}$, $ТЧ_{10}$ могут содержать различные дополнительные компоненты: минеральные вещества (пыль, песок, почвенные частицы), частицы выхлопных газов, изношенных автомобильных шин и промышленных выбросов. Благодаря своим размерам, $ТЧ_{10}$ беспрепятственно проникают в верхние дыхательные пути (полость носа, носоглотки и ротоглотки), частично проникают в трахею и бронхи, однако не достигают лёгких (как более мелкие частицы $ТЧ_{2,5}$). В дыхательных путях $ТЧ_{10}$ вызывают локальное воспаление слизистых оболочек, что в дальнейшем приводит к гиперсекреции слизи, затруднённого дыхания и снижению дыхательной функции. В целом, неблагоприятные реакции, возникающие под действием $ТЧ_{10}$, схожи с таковыми при воздействии $ТЧ_{2,5}$ и также характеризуются образованием активных форм кислорода. Последние повреждают эндотелий сосудов и эпителиальные клетки дыхательных путей [16], что повышает риск возникновения бактериальных и вирусных инфекций. Контакт с $ТЧ_{10}$ приводит к раздражению слизистой оболочки глаз, кожи, особенно у людей с отягощённым аллергологическим анамнезом. При оценке неблагоприятного влияния $ТЧ_{2,5}$ и $ТЧ_{10}$ на организм человека также следует учитывать концентрацию этих частиц в воздухе и время экспозиции: длительное воздействие даже при умеренных концентрациях может приводить к хроническим заболеваниям, тогда как кратковременное воздействие высоких концентраций может быть причиной

острых симптомов, таких как раздражение дыхательных путей, кашель, одышка, и обострение хронических заболеваний.

Аллергический ринит представляет собой одно из самых распространённых аллергических заболеваний в мире [30, 33]. За последние десятилетия отмечается рост заболеваемости АР, что в том числе связывают с изменениями в окружающей среде, образом жизни, ростом урбанизации и глобальным потеплением. По данным различных исследователей, распространённость данной патологии в зависимости от географического региона, возраста, генетических факторов и уровня урбанизации среди населения земного шара варьирует от 10 до 40 %, превалируя в экономически развитых странах, особенно среди подростков и молодых взрослых [18, 23]. В России распространённость АР составляет 10–24 % [1]. В регионах с влажным климатом и высокой концентрацией пылевых клещей чаще выявляется круглогодичная форма АР. При оценке имеющихся эпидемиологических сведений по данной патологии было установлено, что для АР характерны половозрастные различия. Так, АР чаще развивается в детском и подростковом возрасте. Симптомы могут уменьшаться с возрастом, хотя у некоторых людей заболевание сохраняется на протяжении всей жизни. В детском возрасте АР чаще встречается у мальчиков, в период полового созревания гендерные различия исчезают, и соотношение становится одинаковым. С возрастом распределение заболеваемости меняется: в возрасте от 20 до 40 лет АР чаще диагностируется у женщин, что может быть связано с воздействием профессиональных факторов, таких как контакт с химическими веществами, а также с вредными факторами окружающей среды в городах. Взрослые и подростки чаще потребляют табачные изделия и электронные сигареты, что также может увеличивать риск развития АР [15, 28]. Основные факторы риска развития АР включают генетическую предрасположенность, контакт с аллергенами (пыльцой растений, аллергенами клещей домашней пыли, библиотечной пылью, грибковыми (плесневые грибы), эпидермальными (кошки, собаки и др.) и пищевыми аллергенами) и загрязнение воздуха. В городах заболеваемость АР выше, чем в сельских районах, что в первую очередь связано с загрязнением воздуха, промышленными выбросами, высокой плотностью населения, а также более высоким уровнем воздействия аллергенов, таких как пыльца и пылевые клещи [1, 30]. Сопутствующим фактором риска развития АР у подростков являются возрастные гормональные изменения, курение табака и электронных сигарет [15, 28]. Важно отметить, что АР часто ассоциирован с аст-

мой, которая обнаруживается у 15–38 % пациентов с АР. При этом 55–85 % пациентов с астмой имеют симптомы АР [1, 27].

Интерстициальные легочные болезни (ИЛБ) включают обширную группу заболеваний (более 200), которые поражают лёгочную ткань и характеризуются воспалительным процессом и/или фиброзом лёгких. К ним относят идиопатический легочный фиброз, хронический гиперсенситивный пневмонит, идиопатическую неспецифическую интерстициальную пневмонию, неклассифицируемые ИЛБ, пневмокониоз, саркоидоз [19, 21]. В последние десятилетия отмечается рост случаев данной группы заболеваний, что может быть обусловлено как ростом доступности медицинской помощи, совершенствованием методов диагностики, так и изменениями факторов окружающей среды. Оценка эпидемиологических данных о распространённости этих заболеваний проблематична, так как многие ИЛБ редки, имеют разнородную этиологию и клинические проявления. Большинство ИЛБ диагностируются у людей среднего и пожилого возраста (60–70 лет). Однако некоторые формы развиваются у молодых людей, например саркоидоз и легочный фиброз чаще проявляются у людей в возрасте 20–40 лет [21, 32]. В зависимости от типа ИЛБ, различия в частоте заболеваний у мужчин и женщин могут быть значительными. Так, интерстициальный легочный фиброз чаще встречается у мужчин, в то время как саркоидоз чаще диагностируется у женщин [12]. Наличие в воздухе токсичных веществ, таких как пыль, асбест, химикаты, силикатные частицы, может способствовать развитию и прогрессированию ИЛБ. Дополнительными факторами риска развития ИЛБ являются курение, аутоиммунные заболевания, вдыхание производственной пыли и химикатов, а также инфекционные заболевания дыхательных путей [10]. В этой связи распространённость ИЛБ среди шахтёров, строителей, работников текстильной и химической промышленности значительно выше, чем среди других групп населения. В отличие от АР, различия в заболеваемости ИЛБ между городскими и сельскими жителями менее выражены. Вместе с тем сообщается, что жители городов имеют более высокий риск возникновения ИЛБ из-за длительного воздействия загрязняющих веществ, таких как мелкодисперсные частицы ($ТЧ_{2,5}$) и промышленные загрязнители. Средняя продолжительность жизни пациентов с идиопатическим легочным фиброзом без лечения составляет всего 3–5 лет [10, 21]. Вместе с тем, несмотря на адекватное лечение, фиброз легких может прогрессировать в течение 61–80 месяцев с момента появления симптомов у 18–32 % пациентов с другими формами ИЛБ. Пациентам с тяжелыми

формами прогрессирующего фиброзирующего фенотипа ИЛБ и низкой эффективностью проводимой терапии проводится трансплантация легких. В этой связи при планировании и проведении профилактических мероприятий необходимо учитывать половозрастные особенности развития и течения ИЛБ, место проживания пациентов, наличие дополнительных факторов риска.

В последние годы охрана окружающей среды все чаще становится фокусом научных исследований, благодаря чему появляются доказательства связи загрязнения атмосферного воздуха с ростом респираторных заболеваний. Так, наблюдение за пациентами, проживающими в условиях сильного загрязнения воздуха, позволило установить, что воздействие $ТЧ_{2,5}$, $ТЧ_{10}$, O_3 и NO_2 может индуцировать развитие воспалительной реакции в носовой полости и повышение чувствительности к аллергенам, что значительно усиливает симптомы АР [26]. В других исследованиях авторам удалось выявить связь между $ТЧ_{2,5}$ и другими мелкими частицами, присутствующими в загрязненном воздухе, с развитием АР.

Сообщается, что мелкие твердые частицы могут усиливать симптомы АР, такие как чихание, заложенность носа и зуд в полости носа, особенно в теплый период года [20, 22]. Кроме того, установлено, что длительное воздействие мелкодисперсных частиц ($ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$) повышает риск развития аллергических реакций за счёт увеличения продукции аллерген-специфического IgE и провоспалительных цитокинов [22]. Загрязнители ($ТЧ_{2,5}$, $ТЧ_{10}$, NO_2 и O_3) способны повышать чувствительность к аллергенам и модулировать иммунный ответ у пациентов с АР, что приводит к росту случаев этого заболевания [17, 24]. В исследовании, проведенном Y. Zhang и соавторами [34, 35], был сделан акцент на анализе краткосрочного и долгосрочного влияния загрязнителей $ТЧ_{10}$ и NO_2 на развитие АР. Установлено, что определенные загрязнители даже при краткосрочном воздействии индуцируют воспалительную реакцию и повышают риск развития АР. Данную взаимосвязь подтвердило и другое исследование [13], где авторы для минимизации влияния внешних факторов, таких как возраст, пол и других сопутствующих факторов, затрудняющих интерпретацию данных в традиционных обсервационных исследованиях, использовали метод менделевской рандомизации.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в оценке связи качества воздушной среды с развитием хронических заболеваний органов дыхания, включая АР и ИЛБ, сохраняется ряд нерешённых вопросов, что открывает перспективы для будущих научных исследований. Дальнейшее изучение механизмов и последствий влияния за-

грязненного атмосферного воздуха на развитие респираторных заболеваний необходимо проводить путем углубленного комплексного изучения причин и условий возникновения данных патологий с учетом эпидемиологических данных, половозрастных факторов риска и места проживания пациентов. Исследования должны обеспечивать междисциплинарное взаимодействие, направленное на изучение молекулярных механизмов воздействия загрязнителей воздуха на органы дыхания, а также индивидуальной восприимчивости пациентов и генетической предрасположенности к развитию респираторных заболеваний, что позволит идентифицировать группы риска и разработать персонализированные стратегии профилактики. В будущих исследованиях важно учесть кумулятивный эффект долгосрочного воздействия мелкодисперсных частиц $TC_{2,5}$ и TC_{10} на органы дыхания, особенно в сочетании с другими загрязнителями, такими как озон, оксиды азота и ЛОС. Эти подходы помогут выявить новые закономерности в воздействии загрязнённого воздуха на клетки и ткани пациентов, а также спрогнозировать тенденции заболеваемости. Результаты проспективных исследований имеют потенциал для значительного улучшения медицинской профилактики, ранней диагностики и лечения респираторных заболеваний. Они также могут служить фундаментом для совершенствования государственной политики в области экологии и охраны окружающей среды, направленной на снижение уровня загрязнения воздуха в крупных городах и предотвращение его влияния на здоровье населения.

Выводы. Загрязнители, присутствующие в атмосферном воздухе, включая твердые частицы ($TC_{2,5}$ и TC_{10}), являются значимым фактором риска развития и прогрессирования АР и ИЛБ. Комплексный подход к разработке научно-обоснованных программ и стратегий по повышению качества медицинской профилактики позволит минимизировать неблагоприятное влияние загрязненного атмосферного воздуха на здоровье населения. Разработка научно-обоснованных программ и стратегий по повышению качества медицинской профилактики неблагоприятного влияния загрязненного атмосферного воздуха требует комплексного подхода, включающего следующие ключевые мероприятия: 1) социально-гигиенический мониторинг качества воздушной среды: создание и поддержка систем непрерывного мониторинга уровня загрязненности воздуха, особенно в густонаселенных городах; обеспечение оперативного доступа населения к информации о качестве воздуха и уровнях загрязнения на территории проживания через мобильные приложения, веб-сайты и другие средства массовой информации; 2) образова-

тельные программы и повышение осведомленности населения: разработка и внедрение доступных образовательных материалов для различных групп населения о потенциальных рисках для здоровья, связанных с воздействием загрязнителей воздуха, и доступных мерах по их снижению; проведение информационных кампаний, направленных на формирование здорового образа жизни; 3) медицинский скрининг и ранняя диагностика заболеваний дыхательных путей: внедрение государственных программ регулярного медицинского обследования для выявления ранних признаков заболеваний, связанных с воздействием загрязненного воздуха, особенно среди групп риска; обучение медицинских работников методам ранней диагностики заболеваний дыхательных путей, обусловленных воздействием экологических факторов; 4) разработка и внедрение рекомендаций по индивидуальной профилактике: предоставление пациентам рекомендаций по снижению индивидуального воздействия загрязненного воздуха, включая использование средств индивидуальной защиты, очистителей воздуха и ограничение времени пребывания на открытом воздухе в периоды высокого загрязнения; 5) межсекторальное сотрудничество: взаимодействие между различными секторами, такими как транспорт, энергетика, промышленность и сельское хозяйство, для разработки и реализации концепции, направленной на снижение выбросов загрязняющих веществ и использование экологического сырья; контроль за соблюдением законодательных и правовых актов в сфере качества воздуха; 6) разработка и реализация научно-обоснованных мероприятий: проведение научных исследований, направленных на изучение влияния загрязнения воздуха на здоровье и разработку новых методов медицинской профилактики.

Реализация этих мероприятий требует скоординированных усилий научного сообщества, государственных органов, медицинских учреждений и населения в целом для эффективного снижения рисков, связанных с загрязнением атмосферного воздуха на состояние здоровья населения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Аллергический ринит / Н. Г. Астафьева, А. А. Баранов, Е. А. Вишнева, Н. А. Дайхес, А. В. Жестков, Н. И. Ильина, О. В. Карнеева, Е. П. Карпова [и др.] // Российская ринология. – 2020. – Т. 28, № 4. – С. 246–256. DOI: 10.17116/rosrino202028041246.

2. Во всем мире 9 человек из 10 дышат загрязненным воздухом [Электронный ресурс] / Пресс-релиз официального сайта ВОЗ: – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted>

air-but-more-countries-are-taking-action (дата обращения: 04.10.2025).

3. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика / С. В. Кузьмин, Н. С. Додина, Т. А. Шашина, В. А. Кислицин, М. А. Пинигин, О. В. Бударина // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 10. – С. 1145–1150. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150.

4. Доклад ООН: загрязнение воздуха угрожает людям и природе в Европе и Северной Америке [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/12/1435912> (дата обращения: 04.11.2024).

5. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека [Электронный ресурс] / Информационный бюллетень официального сайта ВОЗ: – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 04.11.2024).

6. Загрязнение воздуха стало вторым по значимости фактором риска смерти в мире в 2024 году / Доклад Организации Объединенных Наций. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2024/06/1453411> (дата обращения: 05.11.2024).

7. Неинфекционные заболевания и загрязнение воздуха [Электронный ресурс] / Пресс-релиз официального сайта ВОЗ: – URL: <https://www.who.int/europe/ru/news/item/29-03-2019-noncommunicable-diseases-and-air-pollution> (дата обращения: 05.11.2024).

8. Некоторые внешние факторы и аллергические заболевания / Д. Ш. Мачарадзе, Х. А. Адаева, З. А. Муслимова, В. И. Пешкин // Астма и аллергия. – 2014. – № 3. – С. 9–12.

9. О состоянии и охране окружающей среды Ярославской области в 2009–2010 годах: доклад / Ярославль: Департамент охраны окружающей среды и природопользования Ярославской обл. – 2011. – 255 с.

10. Ambient air pollution exposure and risk and progression of interstitial lung abnormalities: the Framingham Heart Study / M. B. Rice, W. Li, J. Schwartz, Q. Di, I. Kloog, P. Koutarakis, D. R. Gold, R. W. Hallowell [et al.] // Thorax. – 2019. – Vol. 74, № 11. – P. 1063–1069. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2018-212877.

11. Association between exposure to air pollution and risk of allergic rhinitis: A systematic review and meta-analysis / S. Li, W. Wu, G. Wang, X. Zhang, Q. Guo, B. Wang, S. Cao, M. Yan [et al.] // Environ. Res. – 2022. – Vol. 205. – P. 112472. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112472.

12. Casas, M. Air pollution exposure and interstitial lung diseases: have we identified all the harmful environmental exposures? // Thorax. – 2019. – Vol. 74, № 11. – P. 1013–1014. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2019-213805.

13. Causal association between air pollution and allergic rhinitis, asthma: a Mendelian randomization study / J. Zhong, W. Li, S. Yang, Y. Shen, X. Li // Front. Public Health. – 2024. – Vol. 12, № 1386341. – P. 1–15. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1386341.

14. Chronic exposure to ambient PM_{2.5}/NO₂ and respiratory health in school children: A prospective cohort study in Hong Kong / J. Chen, Y. Zeng, A. K. Lau, C. Guo, X. Wei, C. Lin, B. Huang, X. Q. Lao // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2023. – Vol. 252, № 114558. – P. 1–11. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114558.

15. Cigarette smoking is associated with subclinical parenchymal lung disease: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA)-lung study / D. J. Lederer, P. L. Enright, S. M. Kawut, E. A. Hoffman, G. Hunninghake, E. J. van Beek, J. H. Austin, R. Jiang [et al.] // Am. J. Respir. Crit. Care Med. – 2009. – Vol. 180, № 5. – P. 407–414. DOI: 10.1164/rccm.200812-19660C.

16. Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system / G. Polichetti, S. Cocco, A. Spinali, V. Trimarco, A. Nunziata // Toxicology. – 2009. – Vol. 261, № 1–2. – P. 1–8. DOI: 10.1016/j.tox.2009.04.035.

17. Gleason, J. A., Bielory, L., Fagliano, J. A. Associations between ozone, PM_{2.5}, and four pollen types on emergency department pediatric asthma events during the warm season in New Jersey: a case-crossover study // Environ. Res. – 2014. – Vol. 132. – P. 421–429. DOI: 10.1016/j.envres.2014.03.035.

18. Global, regional and national epidemiology of allergic disorders in children from 1990 to 2019: findings from the Global Burden of Disease study 2019 / J. J. Lv, X. M. Kong, Y. Zhao, X. Y. Li, Z. L. Guo, Y. J. Zhang, Z. H. Cheng // BMJ Open. – 2024. – Vol. 14, № 4 (e080612). – P. 1–12. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-080612.

19. Health related quality of life in patients with idiopathic pulmonary fibrosis in clinical practice: insights-IPF registry / M. Kreuter, J. Swigris, D. Pittrow, S. Geier, J. Klotsche, A. Prasse, H. Wirtz, D. Koschel [et al.] // Respir. Res. – 2017. – Vol. 18, № 139. – P. 1–10. DOI: 10.1186/s12931-017-0621-y.

20. Impact of Particulate Matter on the Clinical Characteristics of Rhinitis / J. Y. Kim, D. S. Lee, H. J. Woo, H. G. Kim, B. S. Son, M. K. Park, S. N. Hong // Laryngoscope. – 2021. – Vol. 131, № 6. – P. e1753–e1759. DOI: 10.1002/lary.29185.

21. Incidence and prevalence of interstitial lung diseases worldwide: a systematic literature review / R. Shah Gupta, A. Koteci, A. Morgan, P. M. George, J. K. Quint // BMJ Open Respir. Res. – 2023. – Vol. 10, № e001291. P. 1 – 11. DOI:10.1136/bmjresp-2022-001291.

22. Jiang Y., Nguyen T. V., Jin J., Yu Z. N., Song C. H., Chai O. H. Bergapten ameliorates combined allergic rhinitis and asthma syndrome after PM_{2.5} exposure by balancing Treg/Th₁₇ expression and suppressing STAT3 and MAPK activation in a mouse model // Biomed. Pharmacother. – 2023. – Vol. 164, № 114959. – P.1–14. DOI: 10.1016/j.biopha.2023.114959.

23. Meltzer, E. O. Allergic Rhinitis: Burden of Illness, Quality of Life, Comorbidities, and Control // Immunol. Allergy Clin. North Am. – 2016. – Vol. 36, № 2. – P. 235–248. DOI: 10.1016/j.iac.2015.12.002.

24. Mortality and Morbidity Effects of Long-Term Exposure to Low-Level PM_{2.5}, BC, NO₂, and O₃: An Analysis of European Cohorts in the ELAPSE Project / B. Brunekreef, M. Strak, J. Chen, Z. J. Andersen, R. Atkinson, M. Bauwelinck, T. Bellander, M. C. Boutron // Res. Rep. Health Eff. Inst. – 2021. – Vol. 2021, № 208. – P. 1–127.

25. Outdoor air pollution and respiratory health / S. Maio, G. Sarno, S. Tagliaferro, F. Pirona, I. Stanisci, S. Baldacci, G. Viegi // Int. J. Tuberc. Lung Dis. – 2023. – Vol. 27, № 1. – P. 7–12. DOI: 10.5588/ijtld.22.0249.

26. Park, J. H., Moon, J. W., Yang, H. W., Song, D. J., Park, I. H. Effect of Air Pollutants on Allergic Inflammation in Structural Cells of the Nasal Mucosa // Clin. Exp. Otorhinolaryngol. – 2024. – Vol. 17, № 2. – P. 147–159. DOI: 10.21053/ceo.2023.00079.

27. Peden, D. B. The epidemiology and genetics of asthma risk associated with air pollution // J. Allergy Clin. Immunol. – 2005. – Vol. 115, № 2. – P. 213–219. DOI: 10.1016/j.jaci.2004.12.003.

28. Smoking-related interstitial lung diseases / A. Alarcon-Calderon, R. Vassallo, E. S. Yi, J. H. Ryu // Immunol. Allergy Clin. North Am. – 2023. – Vol. 43, № 2. – P. 273–287. DOI: 10.1016/j.iac.2023.01.007.

29. The association between PM_{2.5} exposure and daily outpatient visits for allergic rhinitis: evidence from a seriously

air-polluted environment / M. Wang, S. Wang, X. Wang, Y. Tian, Y. Wu, Y. Cao, J. Song, T. Wu [et al.] // *Int. J. Biometeorol.* – 2020. – Vol. 64, № 1. – P. 139–144. DOI: 10.1007/s00484-019-01804-z.

30. *The burden of allergic rhinitis and allergic rhinoconjunctivitis on adolescents: A literature review* / M. S. Blaiss, E. Hammerby, S. Robinson, T. Kennedy-Martin, S. Buchs // *Ann. Allergy Asthma Immunol.* – 2018. – Vol. 121, № 1. – P. 43–52.e3. DOI: 10.1016/j.anai.2018.03.028.

31. *The impact of air pollution on interstitial lung disease: a systematic review and meta-analysis* / D. Lan, C. C. Fermoyle, L. K. Troy, L. D. Knibbs, T. J. Corte // *Front. Med.* – 2024. – Vol. 10, № 1321038. – P. 1–22. DOI: 10.3389/fmed.2023.1321038.

32. *The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence* / H. M. Tran, F. J. Tsai, Y. L. Lee, J. H. Chang, L. T. Chang, T. Y. Chang, K. F. Chung, H. P. Kuo [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 898. – P. 166340. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166340.

33. *The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma* / I. Eguiluz-Gracia, A. G. Mathioudakis, S. Bartel, S. J.H. Vijverberg, E. Fuertes, P. Comberiat, Y. S. Cai, P. V. Tomazic [et al.] // *Allergy.* – 2020. – Vol. 75, № 9. – P. 2170–2184. DOI: 10.1111/all.14177.

34. *Zhang, K., Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic* // *Sci. Total Environ.* – 2013. – № 450–451. – P. 307–316. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074.

35. *Zhang, Y., Zhang L. Increasing Prevalence of Allergic Rhinitis in China* / Y. Zhang, L. Zhang // *Allergy Asthma Immunol. Res.* – 2019. – Vol. 11, № 2. – P. 156–169. DOI: 10.4168/aair.2019.11.2.156.

References

1. *Allergicheskij rinit* / N. G. Astaf'eva, A. A. Baranov, E. A. Vishneva, N. A. Dajhes, A. V. Zhestkov, N. I. Il'ina, O. V. Karneeva, E. P. Karpova [i dr.] // *Rossijskaya rinologiya.* – 2020. – T. 28, № 4. – S. 246–256. DOI: 10.17116/rosrino202028041246.

2. *Vo vsem mire 9 chelovek iz 10 dyshat zagryaznenym vozduhom* [Elektronnyj resurs] / Press-reliz oficial'nogo sajta VOZ: – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (data obrashcheniya: 04.10.2025).

3. *Vozdejstvie atmosferyh zagryaznenij na zdorov'e naseleniya: diagnostika, ocenka i profilaktika* / S. V. Kuz'min, N. S. Dodina, T. A. SHashina, V. A. Kislicin, M. A. Pinigin, O. V. Budarina // *Gigiena i sanitariya.* – 2022. – T. 101, № 10. – S. 1145–1150. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150.

4. *Doklad OON: zagryaznenie vozduha ugrozhaet lyudyam i prirode v Evrope i Severnoj Amerike* [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/12/1435912> (data obrashcheniya: 04.11.2024).

5. *Zagryaznenie atmosfernogo vozduha (vozduha vne pomeshchenij) i zdorov'e cheloveka* [Elektronnyj resurs] / Informacionnyj byulleten' oficial'nogo sajta VOZ: – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (data obrashcheniya: 04.11.2024).

6. *Zagryaznenie vozduha stalo vtorym po znachimosti faktorom riska smerti v mire v 2024 godu* / *Doklad Organizacii Ob'edinennyh Nacij.* – URL: <https://news.un.org/ru/story/2024/06/1453411> (data obrashcheniya: 05.11.2024).

7. *Neinfekcionnye zabolevaniya i zagryaznenie vozduha* [Elektronnyj resurs] / Press-reliz oficial'nogo sajta VOZ: – URL: <https://www.who.int/europe/ru/news/item/29-03-2019-noncommunicable-diseases-and-air-pollution> (data obrashcheniya: 05.11.2024).

8. *Nekotorye vneshnie faktory i allergicheskie zabolevaniya* / D. SH. Macharadze, H. A. Adaeva, Z. A. Muslimova, V. I. Peshkin // *Astma i allergiya.* – 2014. – № 3. – S. 9–12.

9. *O sostoyanii i ohrane okruzhayushchej sredy YAroslavskoj oblasti v 2009–2010 godah: doklad* / YAroslavskoj oblasti v 2009–2010 godah: doklad / YAroslavl' : Departament ohrany okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovaniya YAroslavskoj obl. – 2011. – 255 s.

10. *Ambient air pollution exposure and risk and progression of interstitial lung abnormalities: the Framingham Heart Study* / M. B. Rice, W. Li, J. Schwartz, Q. Di, I. Kloog, P. Koutrakis, D. R. Gold, R. W. Hallowell [et al.] // *Thorax.* – 2019. – Vol. 74, № 11. – P. 1063–1069. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2018-212877.

11. *Association between exposure to air pollution and risk of allergic rhinitis: A systematic review and meta-analysis* / S. Li, W. Wu, G. Wang, X. Zhang, Q. Guo, B. Wang, S. Cao, M. Yan [et al.] // *Environ. Res.* – 2022. – Vol. 205. – P. 112472. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112472.

12. *Casas M. Air pollution exposure and interstitial lung diseases: have we identified all the harmful environmental exposures?* // *Thorax.* – 2019. – Vol. 74, № 11. – P. 1013–1014. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2019-213805.

13. *Causal association between air pollution and allergic rhinitis, asthma: a Mendelian randomization study* / J. Zhong, W. Li, S. Yang, Y. Shen, X. Li // *Front. Public Health.* – 2024. – Vol. 12, № 1386341. – P. 1–15. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1386341.

14. *Chronic exposure to ambient PM2.5/NO2 and respiratory health in school children: A prospective cohort study in Hong Kong* / J. Chen, Y. Zeng, A. K. Lau, C. Guo, X. Wei, C. Lin, B. Huang, X. Q. Lao // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2023. – Vol. 252, № 114558. – P. 1–11. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114558.

15. *Cigarette smoking is associated with subclinical parenchymal lung disease: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA)-lung study* / D. J. Lederer, P. L. Enright, S. M. Kawut, E. A. Hoffman, G. Hunninghake, E. J. van Beek, J. H. Austin, R. Jiang [et al.] // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2009. – Vol. 180, № 5. – P. 407–414. DOI: 10.1164/rccm.200812-19660C.

16. *Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system* / G. Polichetti, S. Cocco, A. Spinalli, V. Trimarco, A. Nunziata // *Toxicology.* – 2009. – Vol. 261, № 1–2. – P. 1–8. DOI: 10.1016/j.tox.2009.04.035.

17. *Gleason, J. A., Bielory, L., Fagliano, J. A. Associations between ozone, PM2.5, and four pollen types on emergency department pediatric asthma events during the warm season in New Jersey: a case-crossover study* / *Environ. Res.* – 2014. – Vol. 132. – P. 421–429. DOI: 10.1016/j.envres.2014.03.035.

18. *Global, regional and national epidemiology of allergic disorders in children from 1990 to 2019: findings from the Global Burden of Disease study 2019* / J. J. Lv, X. M. Kong, Y. Zhao, X. Y. Li, Z. L. Guo, Y. J. Zhang, Z. H. Cheng // *BMJ Open.* – 2024. – Vol. 14, № 4 (e080612). – P. 1–12. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-080612.

19. *Health related quality of life in patients with idiopathic pulmonary fibrosis in clinical practice: insights-IPF registry* / M. Kreuter, J. Swigris, D. Pittrow, S. Geier, J. Klotzsche, A. Prasse, H. Wirtz, D. Koschel [et al.] // *Respir. Res.* – 2017. – Vol. 18, № 139. – P. 1–10. DOI: 10.1186/s12931-017-0621-y.

20. *Impact of Particulate Matter on the Clinical Characteristics of Rhinitis* / J. Y. Kim, D. S. Lee, H. J. Woo, H. G. Kim, B. S. Son, M. K. Park, S. N. Hong // *Laryngoscope*. – 2021. – Vol. 131, № 6. – R. e1753–e1759. DOI: 10.1002/lary.29185.
21. *Incidence and prevalence of interstitial lung diseases worldwide: a systematic literature review* / R. Shah Gupta, A. Koteci, A. Morgan, P. M. George, J. K. Quint // *BMJ Open Respir. Res.* – 2023. – Vol. 10, № e001291. P. 1 – 11. DOI:10.1136/bmjresp-2022-001291.
22. *Jiang, Y., Nguyen, T. V., Jin, J., Yu, Z. N., Song, C. H., Chai, O. H. Bergapten ameliorates combined allergic rhinitis and asthma syndrome after PM2.5 exposure by balancing Treg/Th17 expression and suppressing STAT3 and MAPK activation in a mouse model* // *Biomed. Pharmacother.* – 2023. – Vol. 164, № 114959. – R.1–14. DOI: 10.1016/j.biopha.2023.114959.
23. *Meltzer, E. O. Allergic Rhinitis: Burden of Illness, Quality of Life, Comorbidities, and Control* // *Immunol. Allergy Clin. North Am.* – 2016. – Vol. 36, № 2. – P. 235–248. DOI: 10.1016/j.iac.2015.12.002.
24. *Mortality and Morbidity Effects of Long-Term Exposure to Low-Level PM2.5, BC, NO2, and O3: An Analysis of European Cohorts in the ELAPSE Project* / B. Brunekreef, M. Strak, J. Chen, Z. J. Andersen, R. Atkinson, M. Bauwelinck, T. Bellander, M. C. Boutron // *Res. Rep. Health Eff. Inst.* – 2021. – Vol. 2021, № 208. – P. 1–127.
25. *Outdoor air pollution and respiratory health* / S. Maio, G. Sarno, S. Tagliaferro, F. Pirona, I. Stanisci, S. Baldacci, G. Viegi // *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* – 2023. – Vol. 27, № 1. – P. 7–12. DOI: 10.5588/ijtld.22.0249.
26. *Park, J. H., Moon, J. W., Yang, H. W., Song, D. J., Park, I. H. Effect of Air Pollutants on Allergic Inflammation in Structural Cells of the Nasal Mucosa* // *Clin. Exp. Otorhinolaryngol.* – 2024. – Vol. 17, № 2. – R. 147–159. DOI: 10.21053/ceo.2023.00079.
27. *Peden D. B. The epidemiology and genetics of asthma risk associated with air pollution* // *J. Allergy Clin. Immunol.* – 2005. – Vol. 115, № 2. – P. 213–219. DOI: 10.1016/j.jaci.2004.12.003.
28. *Smoking-related interstitial lung diseases* / A. Alarcon-Calderon, R. Vassallo, E. S. Yi, J. H. Ryu // *Immunol. Allergy Clin. North Am.* – 2023. – Vol. 43, № 2. – P. 273–287. DOI: 10.1016/j.iac.2023.01.007.
29. *The association between PM2.5 exposure and daily outpatient visits for allergic rhinitis: evidence from a seriously air-polluted environment* / M. Wang, S. Wang, X. Wang, Y. Tian, Y. Wu, Y. Cao, J. Song, T. Wu [et al.] // *Int. J. Biometeorol.* – 2020. – Vol. 64, № 1. – P. 139–144. DOI: 10.1007/s00484-019-01804-z.
30. *The burden of allergic rhinitis and allergic rhinoconjunctivitis on adolescents: A literature review* / M. S. Blaiss, E. Hammerby, S. Robinson, T. Kennedy-Martin, S. Buchs // *Ann. Allergy Asthma Immunol.* – 2018. – Vol. 121, № 1. – P. 43–52.e3. DOI: 10.1016/j.anai.2018.03.028.
31. *The impact of air pollution on interstitial lung disease: a systematic review and meta-analysis* / D. Lan, C. C. Fermoy, L. K. Troy, L. D. Knibbs, T. J. Corte // *Front. Med.* – 2024. – Vol. 10, № 1321038. – P. 1–22. DOI: 10.3389/fmed.2023.1321038.
32. *The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence* / H. M. Tran, F. J. Tsai, Y. L. Lee, J. H. Chang, L. T. Chang, T. Y. Chang, K. F. Chung, H. P. Kuo [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 898. – P. 166340. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166340.
33. *The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma* / I. Eguiluz-Gracia, A. G. Mathioudakis, S. Bartel, S. J. H. Vijverberg, E. Fuertes, P. Comberiat, Y. S. Cai, P. V. Tomazic [et al.] // *Allergy*. – 2020. – Vol. 75, № 9. – P. 2170–2184. DOI: 10.1111/all.14177.
34. *Zhang, K., Batterman, S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic* // *Sci. Total Environ.* – 2013. – № 450–451. – P. 307–316. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074.
35. *Zhang, Y., Zhang, L. Increasing Prevalence of Allergic Rhinitis in China* / Y. Zhang, L. Zhang // *Allergy Asthma Immunol. Res.* – 2019. – Vol. 11, № 2. – P. 156–169. DOI: 10.4168/aaair.2019.11.2.156.

Поступила 24.11.2025 г.