

Твердые пылевые частицы и проблема их определения при бронхолегочной патологии (обзор литературы)

Л.А. Сопрун¹, И.М. Акулин¹, М.В. Лукашенко¹, Л.П. Чурилов^{1,2},
А.А. Старшинова¹, П.К. Яблонский^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

Solid dust particles and the determination problem in bronchopulmonary pathology (review)

L. Soprun¹, I. Akulin¹, M. Lukashenko¹, L. Churilov^{1,2}, A. Starshinova¹,
P. Yablonskiy^{1,2}

¹ St. Petersburg State University

² St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology

© Коллектив авторов, 2019 г.

Резюме

Урбанизация завоевывает все больше и больше территорий, пригодных для жизни и существования человечества. При этом происходит постоянное увеличение численности населения Земли и уровня общей заболеваемости под воздействием факторов риска. В настоящем обзоре литературы представлены основные источники образования твердых пылевых частиц различных категорий, обобщенные данные по действующим нормативно-правовым документам, касающимся проблемы загрязнения воздуха на территории РФ, описана биологическая роль твердых пылевых частиц и патофизиологические аспекты их влияния на развитие бронхолегочной патологии. Проведен анализ влияния данных частиц в качестве триггерных факторов, провоцирующих развитие аутоиммунного воспаления у разных возрастных групп населения. Кроме того, указана проблематика создания единых диагностических критериев по оценке твердых пылевых частиц различного профиля в организме человека.

Ключевые слова: урбанизация, твердые пылевые частицы, заболеваемость болезнями органов дыхания, пульмонология, аутоиммунитет

Summary

Urbanization is gaining more and more territories suitable for the life and existence of mankind. At the same time, there is a constant increase in the population of the Earth and in the level of general morbidity under the influence of risk factors. The literature review presents the main sources of formation of solid dust particles of different categories. Generalized data are given on the current regulatory documents on the problem of air pollution in the Russian Federation. The biological role of solid dust particles and pathophysiologic aspects of their influence on development of bronchopulmonary diseases are discussed. Their possible immunological role is emphasized as a trigger factor provoking autoimmune disorders among different age and sex groups of the population. In addition, there are proposed draft recommendations on the limitation of exposure of the consequences from the influence of air pollutants.

Keywords: urbanization, total suspended particles, TM10, TM 2,5, incidence of respiratory diseases, pulmonology, autoimmunity

Введение

Проблема влияния бытовых аэрополлютантов на здоровье существовала еще во времена пещерных людей [1], а в индустриальную эпоху началось и до сих пор продолжается активное антропогенное загрязнение воздуха. Вещества, являющиеся загрязнителями воздушной среды, непосредственно и опосредованно — через почву и воду — попадают в организм человека и оказывают на него неблагоприятное воздействие [1–3].

В 2019 г. на территории Российской Федерации выделяют более 150 городов, где доля выбросов в атмосферу от автомобильно-дорожного комплекса (далее АДК) составляет более 50% [4]. Кроме этого, 78% всего городского населения страны находится в зоне действия высокого и очень высокого загрязнения (Москва, Санкт-Петербург, города Камчатского края, Кемеровской, Новосибирской, Омской и других областей) [5]. Развитие автомобильно-дорожного комплекса (АДК) происходит во всем мире и сопровождается усилением загрязнения воздуха [6–8]. В городах России находится и проживает на территориях с высоким и очень высоким уровнем загрязнения воздуха свыше 58,8 млн человек [9]. В процессе эксплуатации АДК образуются аэрозоли деструкции, которые в дальнейшем формируют так называемый дорожный смет. По химическому составу образцы смета представляют собой в основном смесь оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния и органических веществ, а также содержат в своем составе соединения тяжелых металлов [10].

Продукты эксплуатационного износа дорожного покрытия имеют следующий химический состав: 90% всех частиц — алюмосиликаты, 3% — полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие органические соединения [11, 12]. А как известно, именно соединения алюминия, а также силикосодежащие соединения являются веществами адъювантного действия, неспецифически стимулирующими иммунные ответы [10, 11, 13–15]. Это обосновывает патогенез влияния факторов, связанных с АДК, на аллергизацию населения, а также на развитие аутоиммунной и аутовоспалительной патологии. Доказана связь между уровнем развития АДК и заболеваемостью некоторыми аутоиммунными болезнями в регионах России [15, 16]. В настоящее время отмечен рост загрязнения окружающей среды такими сверхтоксичными соединениями, как ПАУ [16, 17]. Основным источником поступления ПАУ в мегаполисах и городах являются выбросы от автомобильного транспорта [18–20]. В ноябре 2016 г. в исследовании о влиянии тяжелых металлов, ПАУ, фталатов и полифторалкильных соединений на сон у жителей США была впервые выявлена законо-

мерность влияния ПАУ (2-гидроксифлуорен, 9-гидроксифлуорен, 2-гидроксибенантрен и 1-гидроксипирен) на возникновение судорожного синдрома во время сна [21, 22]. К тому же многие полициклические углеводороды и тяжелые металлы служат гаптенами. Есть сведения о провокации аутоиммунных заболеваний аэрополлютантами, содержащими тяжелые металлы [22]. По данным литературы, твердые пылевые частицы (ТПЧ) в пробах воздуха на 70% представляют собой алюмосиликаты, которые находятся в состоянии микроскопических частиц [23, 24].

По данным 2017 г. в атмосферный воздух мегаполисов, в частности города Санкт-Петербурга, ежегодно поступает более 26,6 тыс. тонн мелкодисперсных пылевых частиц, в том числе около 20 тыс. тонн $PM_{2,5}$, в состав которых входят соединения металлов и ПАУ. При этом происходит превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) более чем в 6 раз [25, 26]. Повышенное содержание ТПЧ определяется не только у кромки дороги, но и на различном расстоянии от проезжей части, вплоть до 60 м [27]. В соответствии с данными А.М. Сазоновой и соавт. повышение концентрации PM -частиц является косвенным показателем загрязнения воздуха рабочей зоны биологическими агентами, а также показателем его загрязнения вредными веществами. Недостаток легких отрицательных аэроионов повышает уровень вредного воздействия указанных факторов [28].

Как было указано ранее, кроме АДК, к основным принадлежит еще один источник загрязнения воздуха — это различные промышленные предприятия и производства, а именно, угрозу представляет их производственная пыль (взвешенные в воздухе, медленно оседающие твердые частицы размерами от нескольких десятков до долей мкм). Пыль представляет собой аэрозоль, то есть дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой — воздух. Специфической особенностью пылевидного состояния является раздробленность вещества на мельчайшие частицы и, следовательно, чрезвычайно большая поверхность твердых частиц, в связи с чем механические, электрические и сорбционные свойства пыли приобретают самостоятельное значение [4].

В зависимости от механизма образования, то есть от технологии производства, выделяют два вида пыли: дезинтеграции и конденсации. При этом оба этих вида пыли оказывают различное биологическое действие на организм человека. Определяющим в их биологическом влиянии является механизм образования и их структура, а также взаимодействие с молекулами воды.

Согласно действующим на территории РФ нормативно-правовым документам в результате урбани-

стической деятельности образуются и подлежат контролю главные загрязнители воздуха и компоненты газовой среды: такие соединения, как тяжелые металлы, ПАУ в форме твердых пылевых частиц, а именно совокупности твердых пылевых частиц [частиц размером до 10 мк (далее PM_{10}), частиц размером до 2,5 мк (далее $PM_{2,5}$) и алюмосиликатов] [10, 29]. При этом их основным источником является деятельность человека, а именно автомобильный транспорт [1, 2, 30]. Установлено, что средние концентрации цинка, железа, кобальта, свинца, хрома, никеля, ртути превышают гигиенические нормативы при интенсивности движения транспорта более 1500 авт./ч, что особенно актуально на территории мегаполисов.

На количество пылевых частиц в зоне АДК оказывают влияние отработанные газы и продукты эксплуатационного износа — процесс первичного пылеобразования (деструкция деталей автомобиля и дорожного полотна) и процесс вторичного пылеобразования (ресуспандирование). Данные частицы образуются не только в результате сжигания топлива, но и от эксплуатационного износа при трении дорожного покрытия, тормозной системы и протекторов шин в зависимости от вида автомобильного транспорта [21, 31, 32].

АДК в настоящее время является производным трех компонентов: непосредственно транспорта, производственно-технической базы и автомобильных дорог. Он представляет собой конгломерат социально-экономической и организационно-технической систем. АДК — главный источник образования основных видов антропогенных химически активных веществ. Эти загрязнители образуются в результате ряда физических взаимодействий, в том числе трения шин об асфальт, и в этом случае роль играют, в частности, различия шинных протекторов в зависимости от вида транспорта, тормозная система и дорожное покрытие. Чем шире шины, тяжелее транспортное средство и чем чаще оно тормозит — тем больше эмиссия этих аэрополлютантов. В частности, по этим критериям одним из важнейших их источников служат городские автобусы. Под воздействием силы трения происходит разогрев поверхностей (шин и дорожного покрытия), вследствие чего образуется большое количество твердых пылевых частиц. По данным Федеральной службы государственной статистики РФ с 1970 г. автопарк РФ увеличился в 47 раз, а в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, — в 20 и 25 раз соответственно [33]. В Европе в настоящее время насчитывается от 480 до 600 автомобилей на тысячу человек [4–6]. Дорожно-транспортная инфраструктура крупных городов России соответствует уровню автомобилизации 60–100 автомобилей на 1000 жителей, при этом существует понятие критического уровня автомобилизации населения планеты, этот показа-

тель равен 170–180 автомобилям на 1000 жителей [34, 35]. Доля выбросов загрязнений в атмосферу от автомобильного транспорта по сравнению с выбросами промышленности превышает 94% [9–11, 36].

Выбросы загрязняющих веществ от автомобильного транспорта поступают непосредственно в зону дыхания человека, при этом их высокие концентрации формируются преимущественно в приземном слое атмосферы [37, 38]. В работе отечественного автора А.В. Леванчука (2017) показано, что интенсивное развитие АДК приводит к изменению ксенобиотического профиля загрязнения окружающей среды не только непосредственно в зонах дорог, автомагистралей, но и в полосе 100 м от дорожного покрытия [17, 39].

Установлено, что уровень канцерогенного риска в зоне воздействия АДК увеличивается в зависимости от интенсивности, мощности автомобильного потока, при этом показаны основные химические канцерогенные компоненты газовой среды, образующиеся в процессе эксплуатации дорог. Данными веществами являются хром и формальдегид, далее следуют соединения тяжелых металлов (свинца, кобальта, никеля, кадмия). Что касается такого показателя, как уровень неканцерогенного риска, то он оценивается как чрезвычайно высокий (Н₁ от 15,4 до 22,2). Была установлена корреляционная взаимосвязь между прогнозируемой продолжительностью жизни населения в зависимости от развития АДК. При этом она прямо пропорциональна интенсивности движения и составляет на 8,2 года меньше при 3000 авт./ч, чем при интенсивности 500 авт./ч [30, 31].

Воздействие загрязнения воздуха не ограничивается отдаленными районами. От влияния твердых пылевых частиц, а также диоксида азота при загрязнении воздуха происходит, по оценкам, порядка 40 тыс. случаев смерти в год в Великобритании. Тогда как у жителей зеленых пригородов, не сталкивающихся с такими же высокими рисками, как у тех, кто живет, работает и находится в условиях постоянного интенсивного движения транспорта, данный показатель существенно ниже [20].

В 2014 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) пришла к выводу, что загрязнение окружающего воздуха, преимущественно в странах с низким и средним уровнем дохода, привело к 3,7 млн случаев преждевременной смерти в 2013 г. [32, 33].

При этом существуют выбросы твердых пылевых частиц не только от АДК, но и от стационарных источников. Промышленные объекты, находящиеся на территории РФ, в достаточно большом проценте случаев (57%) не имеют должных и законодательно соответствующих систем газо- и водоочисток, что создает дополнительный источник вредного негативного влияния твердых пылевых частиц на организм чело-

века при несоблюдении требований экологического и санитарного характера к системам аффинирования выбросов. Дополнительным фактором, способствующим распространению твердых пылевых частиц с территорий промышленных объектов, является несоблюдение требований к организации и обеспечению правильного моделирования и проектирования санитарно-защитных зон, когда это делается без учета розы ветров, климатогеографического расположения, а также экологического картирования и районирования территорий.

Все описанные выше факторы, а также другие, о которых речь пойдет в данной обзорной статье дальше, приводят к изменениям в организме человека, при этом диагностических критериев, позволяющих судить о состоянии здоровья и определить твердые пылевые частицы, не разработано.

Известно, что при воздействии данных частиц повышается уровень аллергизации населения, увеличивается риск развития онкологических заболеваний, тератогенеза и мутагенеза. Конечно, происходит и увеличение заболеваемости острыми респираторными заболеваниями и аутоиммунными формами патологии. В настоящее время до конца не описан и не выявлен весь спектр заболеваний, возникающих под действием твердых пылевых частиц, а также отсутствуют критерии регистрации их влияния.

Аэрополлютанты в виде твердых пылевых частиц

Данные литературы свидетельствуют о том, что аэрополлютанты в виде ТПЧ, в частности содержащие кремний, алюминий, свинец, кадмий, металлы платиновой группы и др., если они действуют на формирующийся организм с детства, способны нарушить не только развитие легких и дыхательной функции, но и оказать системный, в том числе опосредованный (через пищу и кишечную микробиоту) эффект на другие органы, вплоть до нарушения психомоторного развития и иммунитета [10, 18, 22, 24, 32, 33]. Механизмы возможного влияния аэрополлютантов на аутоиммунитет могут быть разными: адъювантоподобное действие, индукция таких модификаций антигенов, к которым нетолерантны лимфоциты организма, гаптенный эффект и появление неоантигенов в результате действия активных кислород- и галогенсодержащих радикалов и иных медиаторов воспаления [34].

Влияние твердых пылевых частиц на здоровье населения осуществляется несколькими способами: при влиянии среднесуточной и максимально разовой предельно допустимой концентрации, т.е. при длительном хроническом воздействии и при остром кратковременном воздействии, что сопровождается

возникновением респираторных заболеваний (бронхиальной астмы, саркоидоза легких, фиброза легких и рака легкого) [4, 5, 35]. При этом единых диагностических критериев и методов по определению твердых пылевых частиц непосредственно в организме человека не разработано.

Известно, что при увеличении концентрации PM_{10} на 10 мкг/м^3 в сутки происходит увеличение суточной смертности на 0,2–0,6%, при этом основной причины указано не было. В условиях хронического воздействия (ПДК среднесуточная) $PM_{2,5}$ увеличивается смертность от сердечно-сосудистой и бронхолегочной патологии на 6 и 13% соответственно.

Исходя из вышеперечисленного, в мировой научной практике проводится все больше эпидемиологических исследований по оценке воздействия мелкодисперсной пыли ($PM_{2,5}$ и PM_{10}) на здоровье человека и состояние биосферы, а также множатся попытки понять, какая из фракций твердых пылевых частиц наиболее опасна для жителей разных стран.

Лабораторные исследования показали, что твердые частицы индуцируют повреждения ДНК внутри клеток, что, в свою очередь, приводит к легочным и сердечно-сосудистым заболеваниям, а затем к развитию онкологической патологии [36]. Результаты исследований показывают, что фракция твердых частиц PM_{10} является весьма токсичной. Авторами научных работ [21–22] на примере китайской промышленности было показано влияние на здоровье населения тяжелых металлов, содержащихся в воздухе рабочей зоны на промышленном предприятии. В частности, было доказано преимущественное негативное влияние на здоровье населения в виде увеличения общей заболеваемости и количества острых респираторных вирусных заболеваний в результате работы на мануфактурном предприятии в ходе обезвреживания/утилизации электронных отходов элементов телевизоров [21]. Также подтверждено отрицательное воздействие на здоровье работников предприятия и жителей города, где оно расположено, особенно детей, солей тяжелых металлов (свинца и меди), обнаруживаемых в промышленных выбросах от стационарных источников.

Финские ученые проанализировали воздействие мелкодисперсной пыли $PM_{2,5}$ антропогенного происхождения от различных источников на здоровье городского населения Финляндии. Выявлена взаимосвязь между изменениями в соотношении выбросов и токсичности загрязнителей атмосферы и увеличением относительного риска для здоровья граждан [10–12, 21, 25]. В качестве методов исследования были применены косвенные математико-статистические подходы. Авторы исследования пытались проанализировать воздействие на здоровье населения Финляндии воздуха, загрязненного различными антропо-

генными источниками, в частности, мелкодисперсной пылью $PM_{2,5}$, в мегаполисе Хельсинки, а также в работе Т. Тууминен идет речь о комплексной химической гиперчувствительности и корреляции с синдромом большого здания [37].

Мелкодисперсная пыль и респираторные заболевания

Пылевые частицы после ингаляции фагоцитируются легочными макрофагами и активируют их. Однако не все частицы могут быть полностью дезинтегрированы в фагоцитах, возможна их персистенция в клетках, передача из фагоцита в фагоцит при гибели клеток и длительно провоспалительные эффекты [21, 27, 38]. Известно, что вдыхание человеком с воздухом мелкодисперсной пыли может привести к различным воспалительным респираторным заболеваниям. Например, группой европейских исследователей [12, 26, 28] было доказано, что загрязнение воздуха от движения автотранспорта взвешенными частицами PM_{10} вызвало увеличение на 6% общей смертности различных групп населения Австрии, Швейцарии и Франции или дополнительно около 40 тыс. смертей в год, а также более 25 тыс. случаев хронического обструктивного бронхита у взрослых, или дополнительно 29 тыс. случаев бронхита и обострения бронхиальной астмы у детей. Авторы работы [38] предполагают, что в исследованиях по хронической обструктивной болезни легких, астме и случаям госпитализации по поводу заболеваний органов дыхания PM_{10} проявляет более сильный краткосрочный эффект, чем $PM_{2,5}$. Так, PM_{10} быстрее провоцирует неблагоприятные реакции в легких, приводящие к госпитализации. В работе европейских исследователей также было проанализировано влияние $PM_{2,5}$ и PM_{10} на функции легких у 285 детей с бронхиальной астмой [27]. Результаты исследования подтвердили уязвимость данной группы населения и ее подверженность риску от мелкодисперсной пыли.

Аналогичные результаты были получены в работе [39], в которой исследовалось и подтвердилось неблагоприятное влияние загрязнения воздуха мелкими пылевыми частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} на дыхательные функции наиболее уязвимой группы населения — пожилых людей. Авторами исследования [28] доказано, что снижение концентрации PM_{10} в воздухе в течение 11-летнего периода оказывает положительное влияние на симптомы респираторных заболеваний у взрослых жителей Швейцарии. В исследовании [29] также изучалась связь между средней долгосрочной концентрацией $PM_{2,5}$ в воздухе и смертностью от рака легких среди 188 699 ни разу не куривших в течение всей жизни участников проекта. Результаты 26-летнего исследования показывают, что каждое увеличение

концентрации $PM_{2,5}$ на 10 мкг/м^3 было связано с увеличением смертности от рака легких на 15–27%. Авторы исследования [40] обобщили данные по взаимосвязи долгосрочного воздействия аэрополлютантов (в том числе взвешенных частиц) и частоты доброкачественных респираторных заболеваний на основе данных 16 европейских когорт. В ходе исследования авторы не обнаружили связи между загрязнением воздуха и доброкачественными респираторными заболеваниями. Исходя из вышеперечисленных исследований, можно сделать вывод о негативном воздействии мелкодисперсной пыли на респираторную систему человека. При этом все данные исследования были основаны на эпидемиологических методах и подходах, а также использовании экологического картирования. Однако нигде не были применены диагностические исследования бронхолегочной системы человека с непосредственным определением твердых пылевых частиц.

Таким образом, есть косвенные данные о влиянии твердых пылевых частиц на организм человека, включая математико-статистические и эпидемиологические научные данные о влиянии твердых пылевых частиц — как в единичных наблюдениях, так и в больших проспективных исследованиях на соответствующих когортах.

Существуют отдельные нормативно-правовые документы о регулировании поступления твердых пылевых частиц в атмосферный воздух или в рабочую зону, если речь идет о промышленных предприятиях. При этом во врачебную и лабораторную практику до сих пор широко не внедрялись специально разработанные методики исследования и определения количественной и качественной составляющих производственной/городской/урбанистической пыли отдельно по фракциям и в совокупности.

В мировой практике существуют диагностические критерии для всех связанных с пылевыми воздействиями форм патологии (различные гранулематозы, бронхиальная астма и т.д.), а также соответствующие методы диагностики. Однако отсутствуют клинико-диагностические методики для оценки конкретного количества и профиля твердых пылевых частиц в тканях бронхолегочного аппарата. Есть методы определения различных веществ во выдыхаемом воздухе с помощью газожидкостной и газовой хроматографии. Данные методы нашли широкое применение в различных сферах деятельности, например, для разделения по фракциям углеводов, белков и т.д.

Но до сих пор они не востребованы в достаточной степени в практике здравоохранения, несмотря на неоднократные попытки внедрения и наличие высокого уровня специфичности и чувствительности. Несмотря на вышесказанное, это достаточно перспективное диагностическое направление в медицине.

Таким образом, на сегодня отсутствуют единые диагностические критерии и методики контроля концентрации твердых пылевых частиц в организме человека, а их создание явилось бы важной основой профилактических мер и медицинского прогнозирования.

Заключение

Твердые пылевые частицы разного размера и характеристик образуются в результате функционирования одного из основных загрязнителей — АДК. Данные частицы являются опасными не только локально — для бронхолегочного аппарата, но и системно, ввиду их действия на иммунную систему. Они оказывают действие не только через компоненты своего неорганического состава и физические свойства твердых неразлагаемых объектов фагоцитоза, но и за счет наличия на них спорообразующих микроорганизмов, обладающих собственным патогенным действием и перекрестной антигенной реактивностью. Была показана биологическая роль данных видов ми-

кроорганизмов как загрязнителей воздуха в развитии заболеваний органов дыхания среди различных групп населения: как взрослых, так и детей. При этом были выявлены половозрастные особенности влияния частиц на развитие и распространение разных форм патологии.

В связи с этим необходимы дополнительные исследования с изучением патофизиологических аспектов влияния твердых пылевых частиц на организм в зависимости от их свойств и характеристик, что позволит проводить этиотропные диагностику и профилактику заболеваний, спровоцированных влиянием данных факторов.

Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

Работа поддержана грантом Правительства РФ (договор № 14.W03.31.0009 от 13.02.2017 г.) о выделении гранта для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых.

Список литературы

1. *Nriagu J.* Environmental Pollution and Human health in Ancient Times. Encyclopedia of Environmental health (2nd ed.) 2019: 598–614.
2. *Hurley R., Woodward J., Rothwell J.* Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nat. Geosci.* 2018; 11 (4): 251–257. doi: 10.1038/s41561-018-0080-1.
3. *Peeken I., Primpke S., Beyer B. et al.* Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat. Commun.* 2018; 9 (1). doi: 10.1038/s41467-018-03825-5.
4. *Fang W., Yang Y., Xu Z.* PM10 and PM2.5 and Health Risk Assessment for Heavy Metals in a Typical Factory for Cathode Ray Tube Television Recycling. *Environmental Science & Technology* 2013; 47 (21): 12469–12476. doi: 10.1021/es4026613.
5. *Ogonowski M., Schür C., Jarsén Å., Gorokhova E.* The Effects of Natural and Anthropogenic Microparticles on Individual Fitness in *Daphnia magna*. *PLoS One* 2016; 11 (5): e0155063. doi: 10.1371/journal.pone.0155063.
6. *Harder R., Holmquist H., Molander S., Svanström M., Peters G.M.* Review of Environmental Assessment Case Studies Blending Elements of Risk Assessment and Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology* 2015; 49 (22): 13083–13093. doi: 10.1021/acs.est.5b03302.
7. *Nhung N., Amini H., Schindler C. et al.* Short-term association between ambient air pollution and pneumonia in children: A systematic review and meta-analysis of time-series and case-cross-over studies. *Environmental Pollution* 2017; 230: 1000–1008. doi: 10.1016/j.envpol.2017.07.063.
8. *Leung A., Duzgoren-Aydin N., Cheung K., Wong M.* Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from e-Waste Recycling and Its Human Health Implications in Southeast China. *Environ Sci. Technol.* 2008; 42 (7): 2674–2680. doi: 10.1021/es071873x.
9. *Fang W., Yang Y., Xu Z.* PM10 and PM2.5 and Health Risk Assessment for Heavy Metals in a Typical Factory for Cathode Ray Tube Television Recycling. *Environ Sci. Technol.* 2013; 47 (21): 12469–12476. doi: 10.1021/es4026613.
10. *Tainio M., Tuomisto J., Pekkanen J. et al.* Uncertainty in health risks due to anthropogenic primary fine particulate matter from different source types in Finland. *Atmos. Environ.* 2010; 44 (17): 2125–2132. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.02.036.
11. *Künzli N., Kaiser R., Medina S. et al.* Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet* 2000; 356 (9232): 795–801. doi: 10.1016/s0140-6736(00)02653-2.
12. *Peled R., Friger M., Bolotin A. et al.* Fine particles and meteorological conditions are associated with lung function in children with asthma living near two power plants. *Public Health.* 2005; 119 (5): 418–425. doi: 10.1016/j.puhe.2004.05.023.
13. *Marques G., Roque Ferreira C., Pitarma R.* A System Based on the Internet of Things for Real-Time Particle Monitoring in Buildings. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018; 15 (4): 821. doi: 10.3390/ijerph15040821.
14. *Леванчук А.В., Шилова Е.А.* Возможные причины роста сенсибилизации городского населения с высокой интенсивностью автотранспорта. Медицина и образование в Сибири 2015; (2): 53–68. [Levanchuk A.V., Shilova E.A. Possible reasons for the growth of sensitization of the urban population with a high intensity of motor transport. *Medicina i obrazovanie v Sibiri* 2015; (2): 53–68. (In Russ.)].
15. *Сопрун Л.А., Акулин И.М., Утехин В.Я., Гвоздецкий А.Н., Чурилов Л.П.* Связанные с урбанизацией факторы заболеваемости сахарным диабетом I типа. Биосфера 2018; (10): 282–292. [Soprurn L.A., Akulin I.M., Utekhin V.J., Gvozdetskiy A.N., Churilov L.P. Urbanization-related factors of the incidence of Type I diabetes mellitus Interdisciplinary scientific and applied. *Biosfera* 2018; (10): 282–292. (In Russ.)]. doi: 10.24855/biosfera.v10i4.464.
16. *Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Мингулова И.Р.* Гигиеническая характеристика загрязнения окружающей среды в процессе эксплуатации транспортно-дорожного комплекса. Профилактическая и клиническая медицина 2012; (3): 87–92. [Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Mingulova I.R. Hygienic characteristics of environmental pollution in the operation of

- transport and road complex. *Profilakticheskaja i klinicheskaja medicina* 2012; (3): 87–92 (In Russ.).
17. Jiang Y., Shi L., Guang A., Mu Z., Zhan H., Wu Y. Contamination levels and human health risk assessment of toxic heavy metals in street dust in an industrial city in Northwest China. *Environmental Geochemistry and Health* 2017; 40 (5): 2007–2020. doi: 10.1007/s10653-017-0028-1.
 18. Tong R., Cheng M., Ma X., Yang Y., Liu Y., Li J. Quantitative health risk assessment of inhalation exposure to automobile foundry dust. *Environmental Geochemistry and Health*. March 2019. doi: 10.1007/s10653-019-00277-8.
 19. Schrecker T., Milne E. Environment, health and infrastructure: troubling questions. *Journal of Public Health* 2017; 39 (3): 425–426. doi: 10.1093/pubmed/fdx103.
 20. Health in all policies training manual. World Health Organization. May 2017. doi: entity/social_determinants/publications/health-policies-manual/en/index.html.
 21. Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012. World Health Organization. doi: 10.1289/ehp.1307049.
 22. Prüss-Ustün A., Wolf J., Corvalán C., Neville T., Bos R., Neira M. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *Journal of Public Health* 2016; 9: 321–330. doi: 10.1093/pubmed/fdw085.
 23. Wiseman C.L.S., Zereini F. Airborne particulate matter, platinum group elements and human health: A review of recent evidence. *Science of the Total Environment* 2009; 407 (10): 2493–2500. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.12.057.
 24. Turner M.C., Krewski D., Pope C.A., Chen Y., Gapstur S.M., Thun M.J. Long-term Ambient Fine Particulate Matter Air Pollution and Lung Cancer in a Large Cohort of Never-Smokers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2011; 184 (12): 1374–1381. doi: 10.1164/rccm.201106-1011oc.
 25. Leung A.O.W., Duzgoren-Aydin N.S., Cheung K.C., Wong M.H. Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from e-Waste Recycling and Its Human Health Implications in Southeast China. *Environmental Science & Technology* 2008; 42 (7): 2674–2680. doi: 10.1021/es071873x.
 26. Демидова С.В., Орлова Г.П., Фридман К.Б., Лим Т.Е., Шкляревич Н.А. Влияние характера загрязнения атмосферного воздуха на частоту респираторных и аллергических проявлений в условиях мегаполиса. *Профилактическая и клиническая медицина* 2011; 3 (40): 276–279. [Demidova S.V., Orlova G.P., Fridman K.B., Lim T.E., Shklyarevich N.A. Influence of the nature of air pollution on the frequency of respiratory and allergic manifestations in the megalopolis. *Profilakticheskaja i klinicheskaja medicina* 2011; 3 (40): 276–279 (In Russ.).]
 27. Qi H., Li W.-L., Liu L.-Y., Song W.-W., Ma W.-L., Li Y.-F. Brominated flame retardants in the urban atmosphere of Northeast China: Concentrations, temperature dependence and gas-particle partitioning. *Science of The Total Environment* 2014; 491–492: 60–66. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.002.
 28. Wang W., Zheng J., Chan C.-Y., Huang M., Cheung K.C., Wong M.H. Health risk assessment of exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) contained in residential air particulate and dust in Guangzhou and Hong Kong. *Atmospheric Environment* 2014; 89: 786–796. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.01.030.
 29. De la Torre A., Barbas B., Sanz P., Navarro I., Artiñano B., Martínez M.A. Traditional and novel halogenated flame retardants in urban ambient air: Gas-particle partitioning, size distribution and health implications. *Science of The Total Environment* 2018; 630: 154–163. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.199.
 30. Gao B., Chi L., Mahub R. et al. Multi-Omics Reveals that Lead Exposure Disturbs Gut Microbiome Development, Key Metabolites, and Metabolic Pathways. *Chemical Research in Toxicology* 2017; 30 (4): 996–1005. doi: 10.1021/acs.chemrestox.6b00401.
 31. Fröhlich E., Fröhlich E. Cytotoxicity of Nanoparticles Contained in Food on Intestinal Cells and the Gut Microbiota. *International Journal of Molecular Sciences* 2016; 17 (4): 509. doi: 10.3390/ijms17040509.
 32. Weldingh N.M., Jørgensen-Kaur L., Becher R. Bisphenol A Is More Potent than Phthalate Metabolites in Reducing Pancreatic β -Cell Function. *BioMed. Research International* 2017; 1 (11): 421–433. doi: 10.1155/2017/4614379.
 33. Abdel-Shafy H.I., Mansour M.S.M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum* 2016; 25 (1): 107–123. doi: 10.1016/j.ejpe.2015.03.011.
 34. Ham S., Lee N., Eom I. et al. Comparison of Real Time Nanoparticle Monitoring Instruments in the Workplaces. *Safety and Health at Work*. 2016;7(4): 381–388. doi: 10.1016/j.shaw.2016.08.001.
 35. Зинченко Ю.С., Ариэль Б.М., Степаненко Т.А., Волчков В.А. Генерализованный саркоидоз с вовлечением сосудов и ANCA-ассоциированный васкулит как нозология: к вопросу дифференциальной диагностики (описание клинического случая). *Медицинский альянс* 2017; (3): 78–83. [Zinchenko Yu.S., Ariel B.M., Stepanenko T.A., Volchikov V.A. Generalized sarcoidosis with vascular involvement and ANCA-associated vasculitis as nosology: on the issue of differential diagnosis (description of the clinical case). *Medicinskij al'yans* 2017; (3): 78–83. (In Russ.)]
 36. Lohani D., Acharya D. SmartVent: A Context Aware IoT System to Measure Indoor Air Quality and Ventilation Rate — IEEE Conference Publication 2016; 13 (10): 224–241. [ieeexplore.ieee.org. https://ieeexplore.ieee.org/document/7551574/](https://ieeexplore.ieee.org/document/7551574/).
 37. Tuuminen T., Jääskeläinen T., Vaalic K., Polod O. Dampness and mold hypersensitivity syndrome and vaccination as risk factors for chronic fatigue syndrome 2009. *Autoimmunity Reviews* 2019 (18): 107–108. doi.org/10.1016/j.autrev.2018.08.004.
 38. Чурилов Л.П. Патофизиология. Т. 1. Общая патофизиология с основами иммунопатологии: учебник для мед. вузов. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2015: 656. [Churilov L.P. Pathophysiology T. 1. General pathophysiology with the basics of immunopathology. Saint Petersburg: ELBI Publishers; 2015 (In Russ.).]
 39. Jiang Y., Shi L., Guang A., Mu Z., Zhan H., Wu Y. Contamination levels and human health risk assessment of toxic heavy metals in street dust in an industrial city in Northwest China. *Environmental Geochemistry and Health* 2017; 40 (5): 2007–2020. doi: 10.1007/s10653-017-0028.
 40. Perez A.L., Liong M., Plotkin K., Rickabaugh K.P., Paustenbach D.J. Health risk assessment of exposures to a high molecular weight plasticizer present in automobile interiors. *Chemosphere* 2017; 167: 541–550. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.007.

Поступила в редакцию 04.11.2019 г.

Сведения об авторах:

Сопрун Лидия Александровна — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры организации здравоохранения и медицинского права, исследователь лаборатории мозаики аутоиммунитета Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; e-mail: lidas7@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8396-0418;

Акулин Игорь Михайлович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой организации здравоохранения и медицинского права Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; e-mail: akulinim@yandex.ru; Researcher ID 7742-2015; ORCID 0000-0002-7618-4024;

Лукашенко Мария Владиславовна — студентка V курса медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; e-mail: pushisti.legolas@mail.ru;

Чурилов Леонид Павлович — кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой патологии медицинского факультета, заместитель руководителя лаборатории мозаики аутоиммунитета Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4; e-mail: elrach@mail.ru, ORCID 0000-0001-6359-0026;

Старшинова Анна Андреевна — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории мозаики аутоиммунитета Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; e-mail: starshinova_777@mail.ru; ORCID 0000-0002-9023-6986;

Яблонский Петр Казимирович — доктор медицинских наук, профессор; директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4; декан медицинского факультета, заведующий кафедрой госпитальной хирургии Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; e-mail: piotr_yablonskii@mail.ru; ORCID 0000-0003-4385-9643.

ADVANCED TRADING
ЭДВАНСД ТРЕЙДИНГ

ФТИЗАМАКС

МАКРОЗИД
ЕКОКС
МАКОКС
ФОРКОКС
ЭТОМИД
ПРОТОМИД
КАПОЦИН
КОКСЕРИН
ТЕРИЗИДОН-МАК
МАК-ПАС
ОФЛОМАК
МАКЛЕВО

ТУБОСАН

www.atcl.ru

на правах некоммерческой рекламы