

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2021

Фатхутдинова Л.М.¹, Тимербулатова Г.А.^{1,2}, Бочаров Е.П.^{1,2}, Сизова Е.П.², Габидинова Г.Ф.¹, Яппарова Л.И.¹, Васильев Е.С.¹, Шарифуллин Р.Л.¹, Зарипов Ш.Х.³, Залялов Р.Р.¹

Характеристика загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными веществами на основе данных регионального мониторинга

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Казань, 420012, г. Казань, Российская Федерация;²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан», 420061, г. Казань, Российская Федерация;³Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, Российская Федерация

Введение. Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными частицами представляет серьёзную мировую проблему. В РФ регулярные натурные измерения проводятся только в ряде городов, и данные, как правило, не систематизируются.

Цель исследования – провести углублённый анализ накопленного многолетнего массива данных по мониторингу содержания мелкодисперсных взвешенных веществ в атмосферном воздухе г. Казани.

Материал и методы. Проведён углублённый ретроспективный анализ загрязнения мелкодисперсными фракциями взвешенных веществ атмосферного воздуха г. Казани в период с 2016 по 2020 г. Для изучения влияния на уровни загрязнения PM_{10} и $PM_{2,5}$ отдельных факторов (год, время замера в течение дня, присутствие других загрязнителей, климатические условия) применён регрессионный анализ на основе метода смешанных моделей. Для характеристики элементного состава фракции $PM_{2,5}$ был проведён самостоятельный отбор проб атмосферного воздуха на фильтры из поливинилхлорида с помощью импактора 100 NR (TSI, США). Расчёты на основе ступенчатой функции и модель MPPD были применены для моделирования количества частиц и массы осаждаемой фракции аэрозоля мелкодисперсных взвешенных веществ в отдельных участках дыхательных путей человека.

Результаты. Концентрации PM_{10} оставались стабильными на протяжении 5-летнего периода, тогда как концентрации $PM_{2,5}$ снизились. При этом наблюдался рост максимальных годовых концентраций обеих фракций. Концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ значительно зависели от климатических параметров. Присутствие в атмосферном воздухе оксидов азота и органического углерода было связано со значительно более высокими концентрациями PM_{10} и $PM_{2,5}$. Элементный состав мелкодисперсной фракции $PM_{2,5}$ был представлен в основном углеродом (от 86,16 до 93,45%). Математическое моделирование показало, что PM_{10} в основном оседают в верхних дыхательных путях, и их присутствие в трахеобронхиальной и альвеолярной зонах незначительно. Частицы $PM_{2,5}$ достигают нижних дыхательных путей и альвеолярной зоны.

Заключение. Статистически достоверная тенденция к росту в динамике лет максимальных годовых значений для обеих фракций взвешенных частиц может повышать риски здоровью. Присутствие вторичных загрязнителей (оксиды азота, органический углерод) является фактором формирования вторичных мелкодисперсных аэрозолей в атмосферном воздухе. Математическое моделирование депонирования взвешенных частиц в различных отделах респираторного тракта показало, что при оценке рисков здоровью населения необходимо не только использовать концентрации отдельных фракций в атмосферном воздухе, но и учитывать степень депонирования отдельных фракций в различных отделах респираторного тракта с учётом

предполагаемого патогенеза и приоритетных клеток-мишеней, характерных для отдельных заболеваний.

Ключевые слова: PM_{10} ; $PM_{2.5}$; оксиды азота; углерод; климатические условия; элементный состав; депонированные дозы; многолетние данные

Для цитирования: Фатхутдинова Л.М., Тимербулатова Г.А., Бочаров Е.П., Сизова Е.П., Габидинова Г.Ф., Яппарова Л.И., Васильев Е.С., Шарифуллин Р.Л., Зарипов Ш.Х., Залялов Р.Р. Характеристика загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными веществами на основе данных регионального мониторинга. *Токсикологический вестник*. 2021; 29(6): 24-32. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-6-24-32>

Для корреспонденции: Фатхутдинова Лилия Минвагизовна, доктор мед. наук, профессор, зав. кафедрой гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО Казанский ГМУ МЗ РФ, 420012, г. Казань. E-mail: liliya.fatkhutdinova@gmail.com

Участие авторов: Фатхутдинова Л.М. – анализ материала; редактирование; подготовка статьи к публикации; Тимербулатова Г.А. – сбор данных по загрязнению атмосферного воздуха и библиографического материала в базах данных; анализ материала; редактирование. Бочаров Е.П. – сбор данных по загрязнению атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга. Сизова Е.П. – разработка подходов к сбору данных по загрязнению атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга. Габидинова Г.Ф. – статистический анализ данных. Яппарова Л.И., Васильев Е.С., Шарифуллин Р.Л. – экспериментальные исследования по отбору проб атмосферного воздуха. Зарипов Ш.Х. – математическое моделирование депонирования взвешенных частиц из атмосферного воздуха в лёгких человека. Залялов Р.Р. – разработка подходов и проведение статистических и экспериментальных исследований; анализ данных. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Российский фонд фундаментальных исследований (проект №19-05-50094).

Поступила в редакцию: 15.11.2021 / Принята в печать: 23.11.2021 / Опубликовано: 30.12.2021

Fatkhutdinova L.M.¹, Timerbulatova G.A.^{1,2}, Bocharov E.P.^{1,2}, Sizova E.P.², Gabidinova G.F.¹, Yapparova L.I.¹, Vasilev E.S.¹, Sharifullin R.L.¹, Zaripov Sh.K.³, Zalyalov R.R.¹

Characteristics of atmospheric air pollution by fine particles based on regional monitoring data

¹Kazan State Medical University, 420012, Kazan,

²FBUZ «The Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan», 420061, Kazan;

³Kazan Federal University, 420008, Kazan

Introduction. Air pollution with particulate matter (PM) is a serious global problem. In the Russian Federation, regular field measurements of PMs in the ambient air are carried out only in a few cities, and the data, as a rule, are not systematized. Aim of the study: long-term analysis of the data set on concentrations of fine particles in the ambient air of the city of Kazan.

Material and methods. Long-term analysis of ambient air pollution by fine particles in the city of Kazan for the period from 2016 to 2020 has been carried out. To study the effect of separate factors (year, measurement time during the day, climatic conditions, the presence of other pollutants) on the levels of PM_{10} and $PM_{2.5}$, regression analysis was applied based on the method of mixed models. To characterize the elemental composition of the $PM_{2.5}$ fraction, sampling of atmospheric air on PVC filters was carried out by use of 100 NR impactor (TSI, USA). The step function and MPPD model were applied to calculate the number of particles and the mass of the deposited fraction of fine particulate matter in different regions of the human respiratory tract.

Results. The PM_{10} concentrations remained stable over a 5-year period, while the $PM_{2.5}$ concentrations decreased. At the same time, an increase in the maximum annual concentrations of both fractions was observed. The concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ significantly depended on climatic conditions. The presence of nitrogen oxides and organic carbon in the ambient air was significantly associated with higher concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$. The elemental composition of $PM_{2.5}$ fraction was represented mainly by carbon (C) (from 86.16% to 93.45%). Mathematical modeling has shown that PM_{10} is mainly deposited in the upper respiratory tract, and their presence in the tracheobronchial and alveolar zones is insignificant. $PM_{2.5}$ particles reach the lower respiratory tract and alveolar area.

Conclusion. A statistically significant upward long-term trend in the maximum annual ambient concentrations for both fractions of fine particles can increase health risks. Secondary pollutants (nitrogen oxides, organic carbon) are important factors for the formation of secondary particles in the ambient air. The results obtained indicate that when assessing the risks to public health, it is necessary not only to use the

concentrations of fine particles in ambient air, but also to consider the degree of deposition of separate fractions in different parts of the human respiratory tract, considering the alleged pathogenesis and priority target cells characteristic of individual diseases.

Keywords: *PM₁₀; PM_{2.5}; nitrogen oxides; carbon; climatic conditions; elemental composition; deposited doses; long-term data*

For citation: Fatkhutdinova L.M., Timerbulatova G.A., Bocharov E.P., Sizova E.P., Gabidinova G.F., Yapparova L.I., Vasilev E.S., Sharifullin R.L., Zarirov Sh.K., Zalyalov R.R. characteristics of atmospheric air pollution by fine particles based on regional monitoring data. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2021; 29(6): 24-32. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-6-24-32> (In Russian)

For correspondence: *Liliya M. Fatkhutdinova*, MD, PhD, DSc, Prof, head of the Department of Hygiene and Occupational Medicine, Kazan State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kazan, 420012, Russian Federation. E-mail: liliya.fatkhutdinova@gmail.com

Information about the authors:

Fatkhutdinova L.F., <https://orcid.org/0000-0001-9506-563X>

Bocharov E.P., <https://orcid.org/0000-0003-0672-5603>

Gabidinova G.F., <https://orcid.org/0000-0003-0672-5603>

Vasilev E.S., <https://orcid.org/0000-0002-3530-2418>

Zalyalov R.R., <https://orcid.org/0000-0003-2062-0058>

Timerbulatova G.A., <https://orcid.org/0000-0002-2479-2474>

Sizova E.P., <https://orcid.org/0000-0002-6302-3993>

Yapparova L.I., <https://orcid.org/0000-0002-3558-8807>

Sharifullin R.L., <https://orcid.org/0000-0001-7571-2545>

Zarirov Sh.K., <https://orcid.org/0000-0003-3348-7292>

Author contribution: *Fatkhutdinova L.M.* – material analysis; editing the text; preparation of an article for publication. *Timerbulatova G.A.* – collection of data on air pollution and bibliographic material in databases material in bibliographic databases, material analysis, re-editing of the text. *Bocharov E.P.* – collection of data on air pollution within the framework of social and hygienic monitoring. *Sizova E.P.* – development of approaches to collecting data on air pollution within the framework of social and hygienic monitoring. *Gabidinova G.F.* – statistical analysis of the database. *Yapparova L.I., Vasilev E.S., Sharifullin R.L.* – experimental studies on the selection of samples of atmospheric air. *Zarirov Sh.K.* – mathematical modeling of deposition of suspended particles from atmospheric air in human lungs. *Zalyalov R.R.* – developing approaches and conducting statistical and experimental studies, data analysis. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. RFBR, project number 19-05-50094.

Received: November 15, 2021 / Accepted: November 23, 2021 / Published: December 30, 2021

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными веществами (PM – particulate matter) представляет серьёзную мировую проблему [1]. В научных публикациях по оценке воздействия взвешенных веществ на здоровье человека показано увеличение смертности от болезней органов дыхания, сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний и рака лёгких, высокая частота коронарных нарушений, инсультов и диабета второго типа, увеличение частоты заболеваний верхних и нижних дыхательных путей [2].

Взвешенные вещества в атмосферном воздухе контролируются многими государствами с предоставлением информации для населения в режиме реального времени [3]. В РФ регулярные натурные измерения концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе проводятся только в ряде городов, и данные, как правило, не систематизируются.

В базу данных WAQ Index W.A.Q. вносятся данные лишь для некоторых российских городов – Москва, Саратов, Красноярск, Новокузнецк, Иркутск, Томск [3]. Наибольшее число российских публикаций о содержании взвешенных частиц в атмосферном воздухе и рис-

ке, который они представляют для здоровья населения, относятся к исследованиям, проведённым в г. Москве [4]. За последние годы появились публикации о содержании мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе вблизи автодорог в г. Перми [5], в воздухе г. Владивостока [6, 7], г. Якутска [8], г. Красноярска [9]. Необходимо также отметить федеральный проект «Чистый воздух», в рамках которого проводится регулярный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, в том числе взвешенными веществами, в 12 городах Российской Федерации [10]. Ограничениями многих отечественных исследований являются неполные данные по фракционному и химическому составу взвешенных веществ, небольшое количество точек мониторинга, отсутствие многолетних данных. Методика исследований предполагает чаще всего использование только одного параметра экспозиции – среднесуточных концентраций, тогда как для заболеваний, патогенез которых предполагает аллергические реакции или раздражающий тип действия, не меньшее значение могут иметь высокие пиковые уровни загрязнения, а для заболеваний с большим латентным периодом – усреднённые многолетние концентрации. Использование новых параметров экспо-

зиции, таких как масса депонированных в лёгких фракций взвешенных частиц, практически не встречается, тогда как в мире уже начали появляться отдельные работы в этом направлении [11, 12].

Цель исследования — проведение углублённого анализа накопленного многолетнего массива данных по мониторингу содержания мелкодисперсных взвешенных веществ в атмосферном воздухе г. Казани.

Материал и методы

На основе данных социально-гигиенического мониторинга с привлечением ресурсов лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)» были проведены ретроспективные исследования (2013–2020 гг.) загрязнения атмосферного воздуха г. Казани взвешенными веществами. ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)» с 2013 г. на 15 постах наблюдений, расположенных в жилых зонах города, проводит мониторинг содержания взвешенных веществ с использованием анализатора пыли DustTrak (TSI Inc., США), измеряющего общую массовую концентрацию (TSP) и массовую концентрацию отдельных фракций аэрозольных частиц ($PM_{2,5}$ и PM_{10}). Начиная с 2016 г. в 10 мониторинговых точках систематически в течение года проводятся исследования взвешенных веществ с одновременными измерениями концентраций ряда других загрязнителей и мониторингом климатических параметров. С учётом данного обстоятельства в период с 2016 по 2020 г. был проведён углублённый анализ уровней загрязнения мелкодисперсными фракциями взвешенных веществ и факторов, от которых загрязнение может зависеть. Для изучения влияния на уровни загрязнения PM_{10} и $PM_{2,5}$ таких факторов, как временной период (год), время замера в течение дня, температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, атмосферное давление, наличие других загрязнителей (оксиды азота и органический углерод) был применён регрессионный анализ на основе метода смешанных моделей; в качестве случайного фактора в модель дополнительно вводилась переменная «период измерений (год)»|«мониторинговая точка». Статистический анализ проводился при помощи программного обеспечения R (версия 4.0.5).

Для характеристики элементного состава мелкодисперсной фракции $PM_{2,5}$ был про-

ведён самостоятельный отбор проб атмосферного воздуха в 6 точках, отобранных для мониторинга. Отбор атмосферного воздуха проводился в период с июня по сентябрь 2021 г. с помощью 8-ступенчатого импактора 100 NR (TSI, США) на фильтры из поливинилхлорида (PVC504700, Millipore, Германия). Последняя ступень фильтра с размером пор 0,18–0,32 мкм была исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа (Carl Zeiss Auriga, Германия); для получения, обработки и анализа изображений использовалась компьютерная программа Carl Zeiss AxioVision; элементный состав оценивался с помощью энергодисперсионной спектроскопии.

Для расчёта количества частиц и массы осаждаемой фракции аэрозоля мелкодисперсных взвешенных веществ в дыхательных путях человека применялась модель MPPD (Multiple-Path Particle Dosimetry) [13]. В качестве входных параметров модели были использованы данные по дисперсному составу аэрозоля в виде ступенчатой функции, основанной на данных о содержании фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ в составе взвешенных веществ. При расчёте депонированных фракций аэрозоля в лёгких человека была использована модель Yeh-Schum Symmetric [13].

Результаты

На рис. 1, а, б представлены концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ в период с 2016 по 2020 г., измеренные в отдельные временные промежутки в течение дня в разные дни календарного года по отдельным мониторинговым точкам.

Концентрации PM_{10} оставались стабильными на протяжении 5-летнего периода, тогда как концентрации $PM_{2,5}$ в 2017–2020 гг. снизились по сравнению с 2016 г. ($p < 0,001$). Для обеих фракций периодически регистрировались уровни, превышавшие нормативные значения, принятые в Российской Федерации [14]. При этом наблюдался статистически достоверный рост максимальных годовых концентраций взвешенных веществ как для фракции PM_{10} ($p < 0,01$), так и для фракции $PM_{2,5}$ ($p < 0,01$).

Концентрации обеих фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ были достоверно выше ($p < 0,001$) при более высокой скорости движения воздуха, более низкой относительной влажности и повышенном атмосферном давлении. Рост температуры воздуха был связан с повышенными концентрациями PM_{10} , понижение температуры — с более высокими концентрациями $PM_{2,5}$,

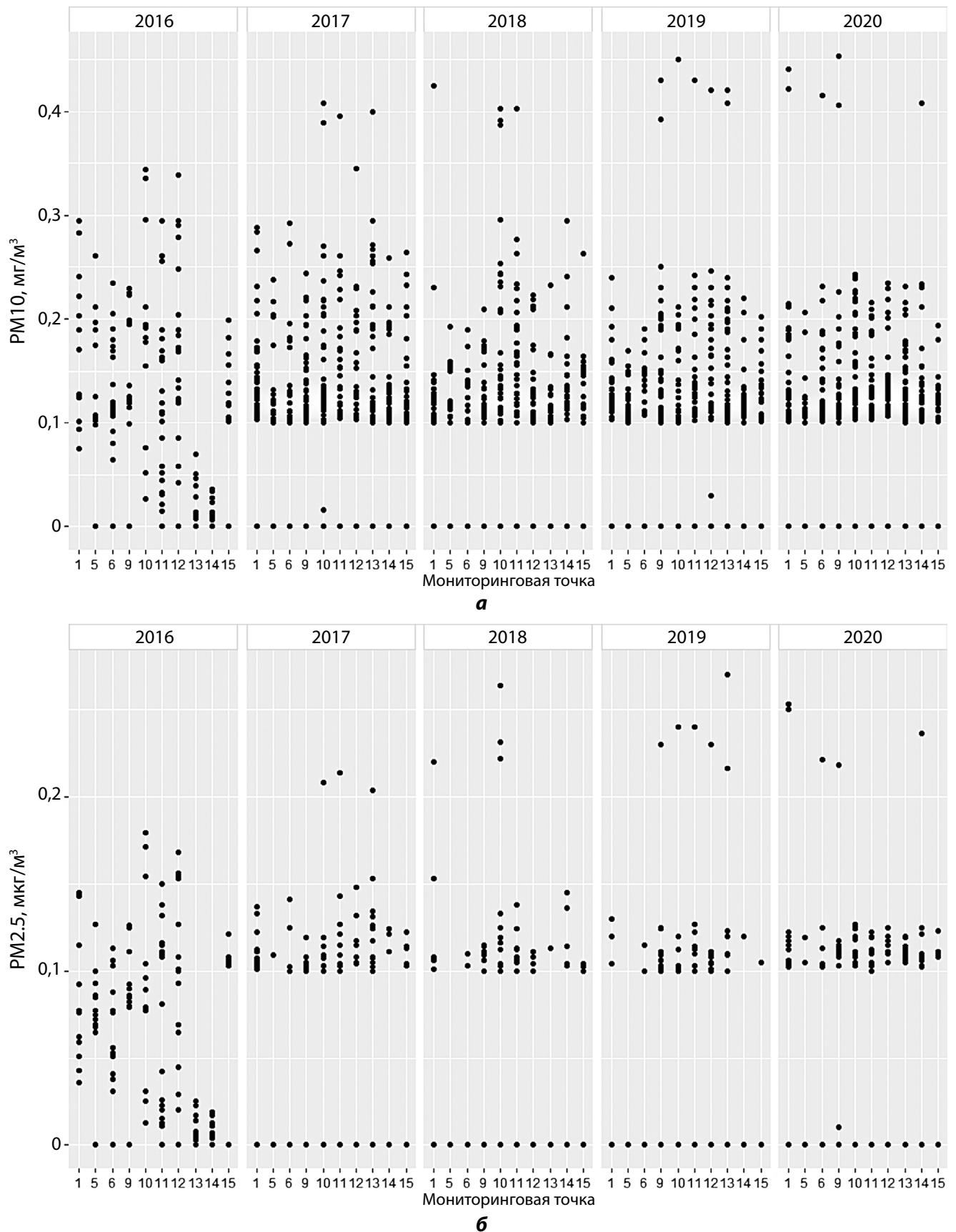


Рис. 1. Концентрации (мкг/м³) фракции PM₁₀ (а) и PM_{2,5} (б) взвешенных веществ по отдельным мониторинговым точкам ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан) за период 2016–2020 гг. Нормативное значение, принятое в Российской Федерации для максимальных разовых концентраций PM₁₀, составляет 0,3 мг/м³ [14].

Fig. 1. Concentrations (µg/m³) of PM₁₀ (а) and PM_{2,5} (б) fractions of suspended substances at individual monitoring points of the Federal State Institution "Center of Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan) for the period 2016–2020. The normative value adopted in the Russian Federation for maximum single concentrations of PM₁₀ is 0.3 mg/m³ [14].

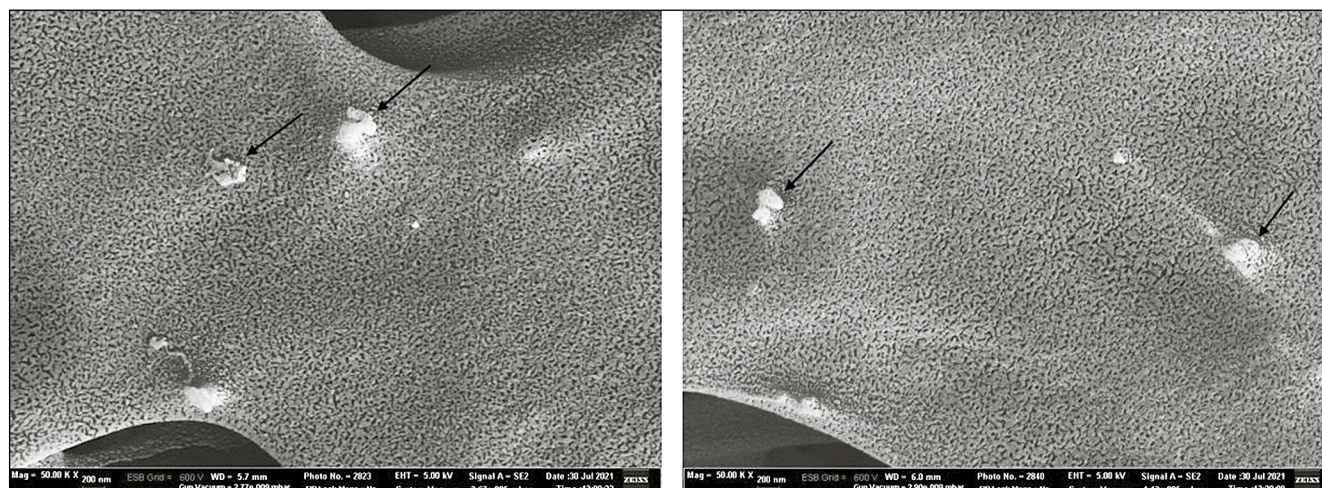


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия проб атмосферного аэрозоля, отобранных на последнюю ступень импактора 100 NR (TSI, США) с применением полихлорвиниловых фильтров, диаметр взвешенных частиц до 0,32 мкм.

Fig. 2. Scanning electron microscopy of atmospheric aerosol samples taken at the last stage of the impactor 100 NR (TSI, USA) using PVC filters, diameter suspended particles up to 0.32 microns.

что, возможно, связано с физико-химическими особенностями формирования различных фракций вторичных аэрозолей.

Присутствие в атмосферном воздухе других загрязнителей (оксиды азота, органический углерод) было связано со значительно более высокими концентрациями PM_{10} и $PM_{2,5}$. Концентрация PM_{10} увеличивалась на $0,17 \text{ мг/м}^3$ ($p < 0,001$) и на $0,07 \text{ мг/м}^3$ ($p < 0,001$) на каждые 1 мг/м^3 роста концентраций оксидов азота и органического углерода соответственно. Концентрация $PM_{2,5}$ увеличивалась на $0,02 \text{ мг/м}^3$ ($p < 0,05$) и $0,01 \text{ мг/м}^3$ ($p < 0,1$) роста концентраций оксидов азота и органического углерода соответственно.

В течение дня самые высокие концентрации $PM_{2,5}$ наблюдались в 9.00 утра. и в интервале с 13.00 до 17.00 ч, по сравнению

с ранним утром (7.00–8.30) и позднейтрянными (9.30–12.00) часами, что скорее всего отражает активное формирование вторичного мелкодисперсного аэрозоля в периоды пиковой транспортной активности. В отношении PM_{10} повышенные концентрации, по сравнению с утренними часами в диапазоне 7.00–10.30 ч, наблюдались во временном диапазоне с 11.00 до 15.00 ч.

Электронные изображения мелкодисперсных взвешенных веществ (фракция размером до 0,32 мкм) представлены на рис. 2. Элементный состав этой фракции был представлен в основном углеродом (C) (от 86,16 до 93,45%) (таблица).

Массовые доли частиц, оседающих в верхних и нижних дыхательных путях, рассчитанные на основе среднегодовых многолетних

Элементный состав (в %) проб атмосферного воздуха, отобранных на фильтры из поливинилхлорида (фракция взвешенных веществ размером до 0,32 мкм) методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией

The elemental composition (in %) of atmospheric air samples taken for filters made of polyvinyl chloride (fraction of suspended solids up to 0.32 microns in size). Method of scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy

№ пробы	Углерод	Кремний	Медь
1	93,43	0,60	0,56
2	90,36	0,80	0,76
3	88,83	0,00	2,39
4	88,01	0,70	2,29
5	93,25	0,00	1,94
6	86,16	0,00	0,72

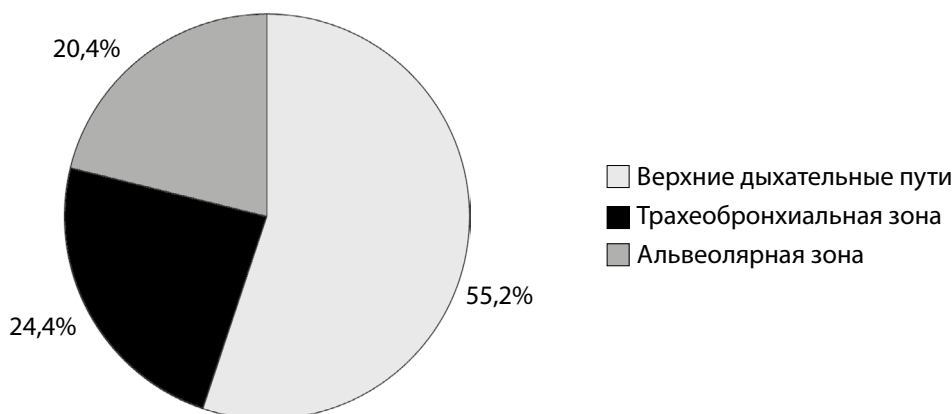


Рис. 3. Диаграмма относительных массовых доз осевших частиц для ступенчатой функции, %.
Fig. 3. Diagram of relative mass doses of settled particles for the step function, %.

концентраций ($0,138 \text{ мг/м}^3$ – для общей фракции взвешенных частиц; $0,094 \text{ мг/м}^3$ – для фракции PM_{10} ; $0,043 \text{ мг/м}^3$ – для фракции $\text{PM}_{2,5}$) с использованием ступенчатой функции, приведены на рис. 3. Более половины всех взвешенных частиц оседает в верхних дыхательных путях, до альвеолярной зоны доходит около 20% частиц, в трахеобронхиальной зоне остаются примерно 24%. Сравнительные результаты расчётов доли и массы фракций PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$, осевших в различных сегментах лёгких, приведены на рис. 4. Математическое моделирование показало, что PM_{10} в основном оседают в верхних ды-

хательных путях, и их присутствие в трахеобронхиальной и альвеолярной зонах незначительно. Частицы $\text{PM}_{2,5}$ достигают нижних дыхательных путей и альвеолярной зоны. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при оценке рисков здоровью населения необходимо не только использовать концентрации отдельных фракций в атмосферном воздухе, но и учитывать степень депонирования отдельных фракций в различных отделах респираторного тракта с учётом предполагаемого патогенеза и приоритетных клеток-мишеней, характерных для отдельных заболеваний.

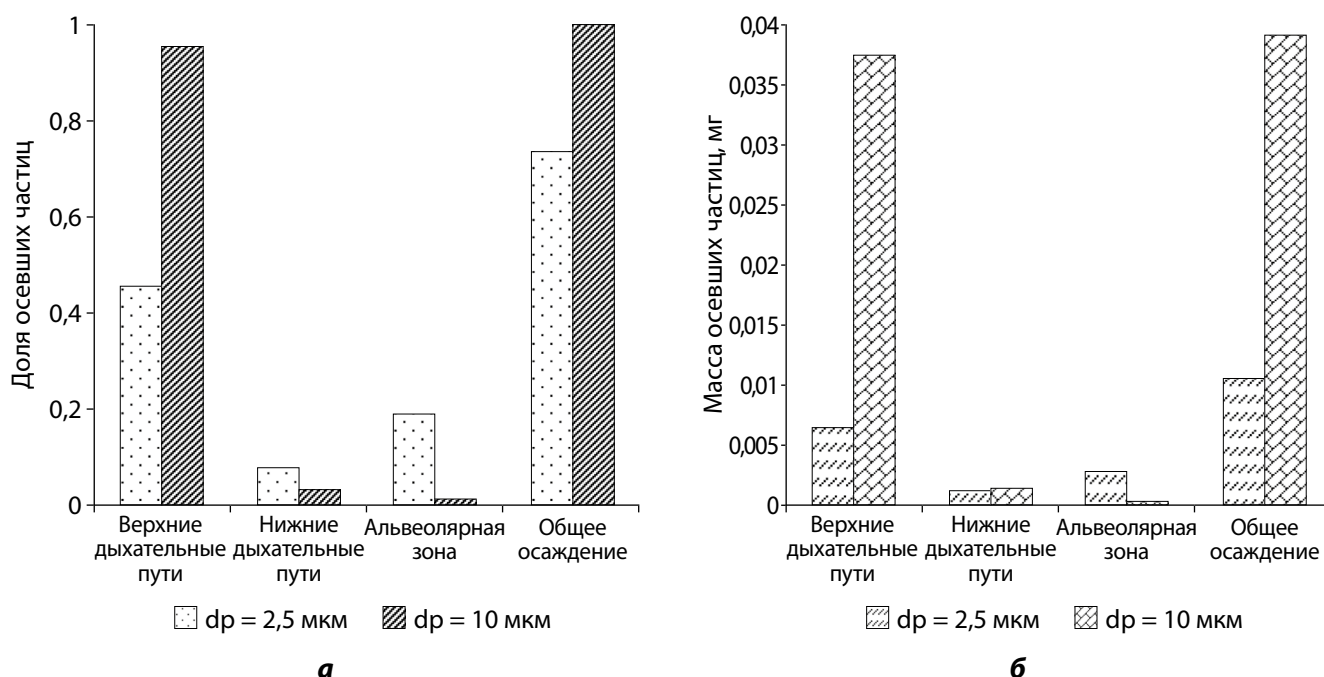


Рис. 4. Доля (а) и масса (б) осевших частиц.
Fig. 4. Fraction (а) and mass (б) of settled particles.

Заключение

Несмотря на тенденцию к снижению концентраций фракции $PM_{2,5}$ и относительно стабильные уровни фракции PM_{10} , на протяжении всего периода наблюдения (2016–2020 гг.) для обеих мелкодисперсных фракций взвешенных веществ ежегодно регистрировались уровни, превышавшие нормативные значения, принятые в Российской Федерации: максимальные разовые концентрации $0,3 \text{ мг/м}^3$ для PM_{10} и $0,16 \text{ мг/м}^3$ для $PM_{2,5}$. При этом отмечалась статистически достоверная тенденция к росту в динамике лет максимальных годовых значений для обеих фракций взвешенных частиц, что может повышать риск госпитализаций по поводу острых состояний и обострений хронических заболеваний, а также способствовать возникновению заболеваний, патогенез которых связан с раздражающим и аллергическим действием загрязнителей, например, бронхиальной астмы. На загрязнение атмосферы мелкодисперсными взвешенными частицами, даже в пределах одного населённого пункта, большое влияние оказывали климатогеографические условия, а также хозяйственное использование территорий, включая транспортные потоки. Присутствие вторичных загрязнителей (оксиды азота, органический углерод) является фактором формирования вторичных мелкодисперсных аэрозолей в атмосферном воздухе. Использование депонированных фракций в качестве параметра воздействия может повысить точность оценок рисков, связанных с воздействием взвешенных частиц на здоровье. Проведение предупредительных мероприятий в отношении промышленных выбросов, региональная градостроительная политика и научно обоснованная программа социально-гигиенического мониторинга являются важнейшими инструментами эффективного управления рисками здоровью, обусловленными воздействием мелкодисперсных взвешенных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

(пп. 3, 7, 11–13 см. в References)

1. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. [Электронный ресурс]: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf (дата обращения: 15 ноября 2021).
2. Фатхутдинова Л.М., Тафеева Е.А., Тимербулатова Г.А., Залыалов Р.Р. Риски здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами. *Казанский медицинский журнал*. 2021; 102(6): 913-27.
4. Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Авалиани С.Л., Лезина Е.А., Семутникова Е.Г. Изменение качества атмосферного воздуха в Москве в 2006–2012 гг. и риски для здоровья населения. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2015; 26(1): 91-122.
5. Уланова Т.С., Антипина М.В., Волкова М.В., Гилёва М.И. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе вблизи автомобильных дорог. *Анализ риска здоровью*. 2016; 4: 38–45. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.05>
6. Дрозд В.А., Кики П.Ф., Ананьев В.Ю., Жигаев Д.С., Лисицкая И.Г., Олесик С.М., Холодов А.С., Иванов В.В., Чайка В.В., Голохваст К.С. Годовые колебания частиц PM_{10} в воздухе Владивостока. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015; 5(2): 646-51.
8. Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Загрязнение атмосферы города Якутска взвешенными веществами. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020; 25(1): 43-50. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-4>
9. Тихонова И.В., Землянова М.А., Кольдубекова Ю.В., Пескова Е.В., Игнатова А.М. Гигиеническая оценка аэрогенного воздействия взвешенных веществ на заболеваемость детей болезнями органов дыхания в зоне влияния источников выбросов металлургического производства. *Анализ риска здоровью*. 2020; 3: 61–9. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.07>
10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году. [Электронный ресурс]: https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/5fa/gd-seb_02.06_-s-podpisyu_.pdf (дата обращения 15 ноября 2021).
14. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Электронный ресурс: <https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения: 15 ноября 2021).

REFERENCES

1. Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. WHO Regional Office for Europe. Available at: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf (accessed: 15 November 2021) (In Russian)
2. Fatkhutdinova L.M., Tafeyeva E.A., Timerbulatova G.A., Zalyalov R.R. Health risks from fine particulate matter in ambient air. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2021; 102(6): 913-27. (In Russian)
3. WAQ Index W.A.Q. 2020. World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index. Available at: <https://waqi.info/#/c/9.662/0/2z> accessed 4.26.20. (accessed: 15 November 2021).
4. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Avaliani S.L., Lezina E.A., Semutnikova E.G. Changes in the quality of atmospheric air in Moscow in 2006-2012 and public health risks. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ecosystem*. 2015; 26 (1): 91-122. (In Russian)
5. Ulanova T.S., Antipieva M.V., Volkova M.V., Gileva M.I. Study of the content of fine particles in the atmospheric air near highways. *Analiz riska zdorovyyu*. 2016; 4: 38–45. (In Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.05>
6. Dрозd V.A., Kiku P.F., Ananiev V.Yu., Zhigaev D.S., Lisitskaya I.G., Olesik S.M., Kholodov A.S., Ivanov V.V., Chaika V. V., Golokhvast K.S. Annual fluctuations of PM_{10} particles in the air of Vladivostok. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk*. 2015; 5 (2): 646-51. (In Russian)
7. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Veremchuk L.V., Golokhvast K.S. Assessment Of Air Pollution By Small-Sized Suspended Particulate Matter In Urbanized Territories With Various Technogenic Load (On The Example Of Vladivostok, Russia). *Russian Open Medical Journal*. 2019; 8 (1). Article CID e0304.
8. Makarov V.N., Torgovkin N.V. Pollution of the atmosphere of the city of Yakutsk with suspended substances. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*. 2020; 25(1): 43-50. (In Russian). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-4>
9. Tikhonova I.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V., Ignatova A.M. Hygienic assessment of the aerogenic effect of suspended solids on the incidence of respiratory diseases in children in the zone of influence of sources of emissions from metallurgical production. *Analiz riska zdorovyyu*. 2020; 3: 61–9. (In Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.07>
10. On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2020. [O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federacii v 2020 godu]. Available at: https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/5fa/gd-seb_02.06_-s-podpisyu_.pdf (In Russian)
11. Goel A., Izhari S., Gupta T. Study of environmental particle levels, its effects on lung deposition and relationship with human behaviour. *Environmental Contaminants, Energy, Environment, and Sustainability*. 2018; 77–91. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7332-8_4
12. Lv H., Li H., Qiu Z., Fan Z., Song J. Assessment of pedestrian exposure and deposition of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and ultrafine particles at an urban roadside: A case study of Xi'an, China. *Atmospheric Pollution Res*. 2021; 12: 112–21. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.02.018>
13. Multiple-Path Particle Dosimetry Model (MPPD v. 3.04). Available at: <https://ara.com/products/multiple-path-particle-dosimetry-model-mppd-v-211> (accessed: 15 November 2021).
14. Sanitary norms and rules 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans. [SanPiN 1.2.3685-21. Gigenicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya]. Available at: <https://base.garant.ru/400274954/> (accessed: 15 November 2021) (In Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Фатхутдинова Лилия Минвагизовна (Fatkhutdinova Liliya Minvagizovna), профессор, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), liliya.fatkhutdinova@gmail.com

Тимербулатова Гюзель Абдулхалимовна (Timerbulatova Gyuzel Abdulkhalimovna), ассистент кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), врач по общей гигиене отдела социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)» (420061, г. Казань, Российская Федерация), ragira@mail.ru

Бочаров Евгений Павлович (Bocharov Evgeniy Pavlovich), заведующий отделом социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)» (420061, г. Казань, Российская Федерация), e_bocharov@yandex.ru

Сизова Елена Петровна (Sizova Elena Petrovna), главный врач ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)» (420061, г. Казань, Российская Федерация), Sizova.EP@tatar.ru

Габидинова Гульназ Фаезовна (Gabidinova Gulnaz Faezovna), аспирант кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), gabidinova26@yandex.ru

Яппарова Ляйля Ильфатовна (Yapparova Layilya Ifatovna), аспирант кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), yapparova.2015@mail.ru

Васильев Евгений Сергеевич (Vasiliev Evgeniy Sergeevich), студент 6 курса медико-профилактического факультета ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), vasevgeni2010@yandex.ru

Шарифуллин Рустам Ленарович (Sharifullin Rustam Lenarovich), студент 6 курса медико-профилактического факультета ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), rustam.scharifullin@gmail.com

Зарипов Шамиль Хузеевич (Zaripov Shamil Khuzeevich), доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой моделирования экологических систем Казанского (Приволжского) федерального университета (420008, г. Казань, Российская Федерация), shamil.zaripov@gmail.com

Залялов Рамиль Равилевич (Zalyalov Ramil Ravilevich), кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены, медицины труда ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России (420012, г. Казань, Российская Федерация), ramilzal@mail.ru

