

УДК 616.24:616-002:614.715

DOI: 10.36604/1998-5029-2024-91-68-76

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТВЕРДЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Е.В.Кондратьева, Т.И.Виткина, Л.В.Веремчук

*Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт  
медицинской климатологии и восстановительного лечения, 690105, г. Владивосток, ул. Русская, 73г*

**РЕЗЮМЕ. Введение.** Загрязнение атмосферного воздуха по данным Всемирной Организации Здравоохранения наносит огромный ущерб здоровью населения по всему миру. Твердые взвешенные частицы атмосферного воздуха представляют собой гетерогенную смесь веществ с различными размерными, качественными и количественными характеристиками и являются ключевым индикатором загрязнения воздуха, способствуя формированию бронхолегочной патологии. На данный момент не существует единого рекомендованного ранжирования содержания твердых взвешенных частиц в атмосферном воздухе. **Цель.** Определение фракционного содержания твердых взвешенных частиц в приземном слое воздуха районов г. Владивостока с высокой и относительно невысокой техногенной нагрузкой. **Материалы и методы.** Пробы атмосферного воздуха отбирались «в зоне дыхания» при помощи электрического аспиратора. При гранулометрическом анализе твердых взвешенных частиц устанавливалось распределение частиц по размерам, выраженное в процентах, и массовая концентрация фракций (мкг/м<sup>3</sup>). Выделены диапазоны размерности частиц с учетом возможного происхождения и предполагаемых патофизиологических особенностей их воздействия на организм. **Результаты.** Для территории с высокой техногенной нагрузкой г. Владивостока характерно превалирование наиболее патогенных для организма частиц диаметром до 10 мкм. В районе с относительно невысокой техногенной нагрузкой преобладают частицы более крупных фракций (10-25, 1000-2000 мкм). **Заключение.** Изучение параметров твердых взвешенных частиц конкретных территорий и установление клеточных механизмов их влияния на организм могут помочь в разработке новых стратегий профилактики экологозависимых патологий.

*Ключевые слова: твердые взвешенные частицы, приземный слой атмосферного воздуха, бронхолегочная патология.*

## ATMOSPHERIC GROUND LAYER POLLUTION BY SUSPENDED SOLID PARTICLES IN AREAS WITH DIFFERENT TECHNOGENIC LOADS

E.V.Kondratyeva, T.I.Vitkina, L.V.Veremchuk

*Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Centre of Physiology and Pathology of Respiration - Institute of Medical  
Climatology and Rehabilitation Treatment, 73g Russkaya Str., Vladivostok, 690105, Russian Federation*

**SUMMARY. Introduction.** According to the World Health Organization ambient air pollution causes enormous harm to public health around the world. Atmospheric solid suspended particles are a heterogeneous mixture of substances with various dimensional, qualitative and quantitative parameters. They are a key indicator of air pollution, contributing to the bronchopulmonary pathology formation. At the moment, there is no general recommended ranking of the solid suspended

### Контактная информация

Елена Викторовна Кондратьева, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов, Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения, 690105, Россия, г. Владивосток, ул. Русская, 73г. E-mail: elena.v.kondratyeva@yandex.ru

### Correspondence should be addressed to

Elena V. Kondratyeva, PhD (Biol.), Staff Scientist, Laboratory of Medical Ecology and Recreational Resources, Vladivostok Branch of the Far Eastern Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment, 73g Russkaya Str., Vladivostok, 690105, Russian Federation. E-mail: elena.v.kondratyeva@yandex.ru

### Для цитирования:

Кондратьева Е.В., Виткина Т.И., Веремчук Л.В. Загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха твердыми взвешенными частицами территорий с различной техногенной нагрузкой // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2024. Вып.91. С.68–76. DOI: 10.36604/1998-5029-2024-91-68-76

### For citation:

Kondratyeva E.V., Vitkina T.I., Veremchuk L.V. Atmospheric ground layer pollution by suspended solid particles in areas with different technogenic loads. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2024; (91):68–76 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2024-91-68-76

particles amount in the atmospheric air. **Aim.** Determination of the SSP fractional content in the air ground layer in high and relatively low technogenic load areas of Vladivostok. **Materials and methods.** Atmospheric air samples were taken «in the breathing zone» using an electric aspirator. In the granulometric analysis of SSP, the particle size distribution, expressed as a percentage, and the mass concentration of fractions ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) were determined. The ranges of dimensions have been identified, taking into account the solid suspended particles possible origin and the expected pathophysiological features of their effect on the organism. **Results.** An area with a high technogenic load is characterized by the prevalence of particles with a diameter of up to 10 microns, which have the most pathogenic effect on the organism. In an area with a relatively low technogenic load, particles of larger fractions (10-25, 1000-2000 microns) predominate. **Conclusion.** Studying the solid suspended particles parameters in specific areas and establishing their influence cellular mechanisms can help in the development of new strategies for the prevention of environmentally-related pathologies.

*Key words:* suspended solid particles, atmospheric surface layer, bronchopulmonary pathology.

Загрязнение атмосферного воздуха по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) наносит огромный ущерб здоровью населения по всему миру, ежегодно приводя к миллионам смертей и снижению продолжительности и качества жизни [1]. Твердые взвешенные частицы (ТВЧ) атмосферного воздуха являются ключевым индикатором загрязнения воздуха. Они попадают в атмосферу в результате различных природных и антропогенных процессов, могут в течение длительного времени находиться во взвешенном состоянии и перемещаться на большие расстояния. Твердые взвешенные частицы атмосферного воздуха представляют собой гетерогенную смесь веществ с различными размерными, качественными и количественными характеристиками. Многочисленные исследования доказывают, что влияние ТВЧ на здоровье человека зависит, главным образом, от размера частиц и их способности проникать через дыхательные пути [2, 3]. Значительную опасность для органов дыхания человека представляет скопление твердых взвешенных частиц в приземном слое атмосферы [4, 5].

В настоящее время выделяют 5 фракций ТВЧ: PM1 (0-1 мкм), PM2,5 (0-2,5 мкм), PM4 (0-4 мкм), PM10 (0-10 мкм), PM100 (0-100 мкм) [2, 6, 7]. Однако, эти диапазоны включают достаточно широкий спектр частиц, которые могут существенно отличаться как по генезу, так и по воздействию на организм. Наибольшее влияние на здоровье человека оказывают частицы диаметром менее 10 мкм. Частицы размером примерно от 4 до 10 мкм откладываются в трахеобронхиальном дереве, респираторные ТВЧ диаметром от 1 до 4 мкм – в бронхиолах и альвеолах. Частицы менее 1 мкм способны проникать глубоко в дыхательные пути и альвеолы, перемещаться дальше в клеточную ткань и систему кровообращения. Значимое негативное воздействие на здоровье также оказывают ультратонкие частицы диаметром менее 0,1 мкм: они могут приводить к нарушению функционирования и энергетического состояния клеток [2, 4, 5]. Невозможность быстрого выведения микроразмерных ТВЧ из организма приводит к их накоплению, оказывая в долгосрочной перспективе негативное влияние на формирование и прогрессирование бронхолегочных патологий [3, 8, 9].

На данный момент не существует единого рекомен-

дованного ранжирования содержания твердых взвешенных частиц в атмосферном воздухе. В числе прочих используется Индекс качества воздуха (AQI), который представляет собой всемирно признанный стандарт риска для здоровья. Однако пределы массовой концентрации в этом индексе используется только для оценки воздействия PM2,5, и, кроме того, существенно различаются в зависимости от регионов. Например, содержание PM2,5 с минимальным риском для здоровья в США считается от 0 до 12 мкг/м<sup>3</sup>, а на территории Китая от 0 до 35 мкг/м<sup>3</sup> [10]. Однако ни один уровень загрязнения воздуха не может считаться безопасным для здоровья человека, в особенности для уязвимых групп населения, таких как лица с бронхолегочной патологией. Данный факт требует детализации структуры загрязнения на исследуемых территориях с учетом региональных особенностей качественного состава ТВЧ с выделением значимых диапазонов воздействия.

Целью исследования явилось определение фракционного содержания твердых взвешенных частиц в приземном слое воздуха районов г. Владивостока с высокой и относительно невысокой техногенной нагрузкой.

#### Материалы и методы исследования

В исследование включены континентальная (с высоким уровнем техногенного загрязнения воздуха) и островная (с относительно невысоким техногенным загрязнением) территории г. Владивостока. В качестве района с высокой техногенной нагрузкой выбрали район Вторая речка города Владивостока с высокой плотностью селитебной застройки. В этом районе загрязнение атмосферного воздуха связано с наличием асфальтированной дороги с высоким автомобильным трафиком (до 3000 авт./час) и плохим качеством асфальтового покрытия, мусоросжигательного завода, теплоцентрали «Северная». В качестве района с относительно невысоким техногенным загрязнением представлен остров Русский, для которого характерно отсутствие заводов и крупных предприятий, низкая плотность селитебной застройки, наличие обширной морской акватории и лесных массивов. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в данном районе являются грунтовые дороги с

незначительной интенсивностью автомобильного движения (до 60 авт./час), в отопительный сезон дополнительными источниками являются котельные и печные отопительные системы частного сектора.

Определение гранулометрического состава атмосферных взвесей проводили непосредственно в «зоне дыхания» ( $h=1,5-2,5$  м) на основании авторской разработки [11].

Отбор проб ТВЧ в континентальной (356 проб) и островной части (340 проб) г. Владивостока проводили в часы интенсивного загрязнения воздуха (10-13 час) в период 2017-2022 гг. Пробы атмосферного воздуха отбирались с помощью электрического аспиратора ПУ-4Э (ЗАО «ХИМКО», Россия) в жидкую поглотительную среду (высокоочищенная вода) с использованием высокоскоростного поглотителя Рихтера со скоростью 10 л/мин [5]. Режим отбора каждой пробы атмосферного воздуха состоял из шести последовательных циклов по 30 мин (время одного цикла соответствует времени отбора для расчета максимальной разовой ПДК) с перерывом между циклами 5-10 мин. В начале каждого цикла фиксировались метеорологические показатели: скорость и направление ветра, температура воздуха, атмосферное давление, состояние погоды и подстилающей поверхности почвы.

При гранулометрическом анализе ТВЧ (лазерный анализатор Analysette 22 NanoTech (Fitsch, Германия)) устанавливалось распределение частиц по размерам, выраженное в массовых долях. Взвешивание фильтров проводилось с использованием электронных весов Shimadzu (Япония). Рассчитывалась общая массовая концентрация взвешенных веществ в единице объема атмосферного воздуха ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), затем массовая концентрация фракций ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) в каждой пробе.

Твердые взвешенные частицы в соответствии с генезом и возможным действием на организм были дифференцированы на 11 диапазонов размерности (0-0,1; 0,1-1,0; 1,0-2,5; 2,5-4; 4-10; 10-25; 25-100; 100-500; 500-700; 700-1000; >1000 мкм). Определяли их процентное соотношение к общей массе пылевых фракций. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы «Statistica 10» (StatSoft Inc., США). Результаты непараметрической описательной статистики представляли в виде медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей (Q25; Q75). Так как у большинства групп признаки имели отличное от нормального распределение, для проверки статистических гипотез при сравнении числовых данных двух несвязанных групп использовали U-критерий Манна-Уитни. Различия считались статистически значимыми при уровне  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Гранулометрический состав атмосферных взвесей

в районах с различными уровнями техногенной нагрузки оценивали на основе отбора проб твердых взвешенных частиц в островной (о. Русский) и континентальной части (г. Владивосток) города Владивостока.

Определение относительного содержания ТВЧ различных диапазонов в приземном слое воздуха позволило выявить характерные особенности перераспределения процентного содержания фракций микротоксикантов. На острове Русском выявлено преобладание ТВЧ в диапазонах 10-25 мкм, в г. Владивостоке было отмечено максимальное содержание частиц величиной 2,5-4 мкм (табл. 1). Кроме того, высокие статистически значимые различия между островной и материковой частью выражались в содержании ТВЧ размером 1-2,5 мкм, 10-25 мкм, 100-500 мкм.

При сравнении загрязнения ТВЧ приземного слоя атмосферного воздуха районов с высокой и относительно невысокой техногенной нагрузкой выявлено, что в континентальной техногенно неблагоприятной зоне г. Владивостока процентное содержание частиц диапазонов фракций PM1, PM2,5, PM4 и PM10 выше, чем на территории относительно благоприятной зоны – о. Русский, в 4,3; 2,2; 3,1; 1,9 раз, соответственно, тогда как PM100 только в 1,1 раз.

Содержание ультратонких частиц (0-0,1 мкм) в районе с высокой техногенной нагрузкой было в 19,6 раза выше по сравнению с районом с относительно невысокой техногенной нагрузкой ( $p=0,003$ ). В диапазоне 0,1-1 мкм содержание ТВЧ в континентальной части города Владивостока превышало их концентрацию на острове Русский в 3,1 раза ( $p=0,015$ ). Для фракции 1-2,5 мкм выявлено различие в 1,9 раза ( $p=0,041$ ). Процент частиц с аэродинамическим диаметром от 2,5 до 4 мкм в континентальной части города превысил в 4 раза их содержание на островной территории ( $p=0,022$ ). Процентное содержание ТВЧ 4-10 мкм на 8% было больше на о. Русский ( $p=0,048$ ).

В то же время содержание частиц PM>10 на островной территории было выше по сравнению с материковой частью в диапазонах 10-25, 100-500, и 1000-2000 мкм в 2,3 ( $p=0,027$ ), 7,2 ( $p=0,002$ ) и 1,6 ( $p=0,026$ ) раз, соответственно. В наибольшей степени превалирование выражено в размерном ряду от 25 до 100 мкм. Процент частиц с диаметром 500-700 и 700-1000 в материковой части превосходил аналогичные показатели островной территории в 1,3 ( $p=0,016$ ) и 1,1 ( $p=0,023$ ) раза, соответственно.

Определение массовых концентраций ТВЧ (табл. 2) позволило установить уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха г. Владивостока в сравниваемых зонах.

Таблица 1

Содержание твердых взвешенных частиц (%) в приземном слое атмосферного воздуха континентальной и островной части города Владивостока

| ТВЧ (%)       | Островная часть города | Континентальная часть города     |
|---------------|------------------------|----------------------------------|
| <0,1 мкм      | 0,050 (0; 0,11)        | 0,979 (0,23; 1,31)<br>p=0,003    |
| 0,1-1 мкм     | 0,685 (0,42; 1,27)     | 2,155 (1,67; 2,81)<br>p=0,015    |
| 1-2,5 мкм     | 5,754 (4,20; 6,88)     | 10,840 (8,52; 13,40)<br>p=0,041  |
| 2,5-4 мкм     | 7,340 (5,36; 10,83)    | 29,571 (15,35; 36,22)<br>p=0,022 |
| 4-10 мкм      | 16,693 (16,15; 18,92)  | 15,390 (12,48; 16,27)<br>p=0,048 |
| 10-25 мкм     | 34,702 (26,88; 41,26)  | 14,821 (10,62; 18,78)<br>p=0,027 |
| 25-100 мкм    | 0,440 (0,20; 0,72)     | 0,000<br>p=0,008                 |
| 100-500 мкм   | 5,950 (4,19; 7,48)     | 0,823 (0,31; 1,15)<br>p=0,002    |
| 500-700 мкм   | 5,023 (4,91; 6,06)     | 6,355 (5,72; 6,99)<br>p=0,016    |
| 700-1000 мкм  | 8,940 (6,88; 10,02)    | 10,214 (10,17; 12,31)<br>p=0,023 |
| 1000-2000 мкм | 14,420 (10,29; 17,79)  | 8,850 (6,71; 9,95)<br>p=0,026    |

Примечание. Здесь и в таблице 2: p – уровень статистической значимости различий содержания твердых взвешенных частиц в континентальной и островной части города Владивостока.

При сравнении загрязнения ТВЧ приземного слоя атмосферного воздуха районов с высокой и относительно невысокой техногенной нагрузкой выявлено, что в континентальной зоне г. Владивостока массовые концентрации частиц фракций PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>4</sub> и PM<sub>10</sub> были выше, чем на территории относительно-благоприятной зоны – о. Русский, в 3,9; 2,4; 2,7 и 1,2 раза, соответственно. Содержание ТВЧ размером 0-0,1 мкм в континентальной части г. Владивостока составило 0,5 мкг/м<sup>3</sup>, на о. Русский ультратонких частиц не было обнаружено (p=0,01). В диапазоне 0,1-1 мкм массовая концентрация ТВЧ в континентальной части города превышала концентрацию, выявленную на острове в 3,6 раза (p=0,04), для фракции 1-2,5 мкм – в 2,1 раза (p=0,004), для частиц 2,5-4 мкм – в 4 раза (p=0,02). ТВЧ размером 4-10 мкм в районе со значительной техногенной нагрузкой были определены в концентрации 37,1 мкг/м<sup>3</sup>, что в 1,1 раза ниже уровня на островной территории, где их содержание составило 40,24 мкг/м<sup>3</sup> (p=0,0005). Содержание частиц фракций 10-25 мкм было в 2,3 раза выше на о. Русский, где загрязнение фиксировалось на уровне 22,48 мкг/м<sup>3</sup>, тогда

как в континентальной части города эти частицы были определены в концентрации 9,6 мкг/м<sup>3</sup> (p=0,005). Массовая концентрация ТВЧ диапазонов 25-100 мкм и 100-500 мкм не превышала 2,04 мкг/м<sup>3</sup> (p<0,01) на обеих территориях. Установленные концентрации частиц с аэродинамическим диаметром 500-700 мкм и 700-1000 мкм в районах с высоким уровнем техногенного загрязнения воздуха превысили их содержание в благоприятных районах в 1,2 (p=0,00008) и 1,1 (p=0,0001) раза, соответственно. Тогда как количество ТВЧ размером 1000-2000 мкм в континентальной части г. Владивостока было ниже в 1,5 раза (p=0,0006).

Уровень техногенной нагрузки и качество воздуха для континентальной и островной частей города существенно отличались. Причинами этого, по нашему мнению, является ряд факторов. Загрязнение воздушной среды города Владивостока обусловлено, в основном, большим количеством автотранспорта (> 500 автомобилей на 1000 жителей) и высокой интенсивностью движения (2500-3000 авт./час) [5, 12–14]. Проезжая часть улиц сокращается вследствие парковки автомобилей на дорогах, что затрудняет движение, соз-

даёт «пробки» и способствует увеличению загазованности воздуха. Кроме того, значительный вклад в загрязнение воздуха вносит использование низкокачественного топлива на предприятиях, выбросы технически устаревших производственных объектов, условия муссонного климата с характерными сезонными направлениями ветра, расчлененным рельефом, высокой повторяемостью приземных, приподнятых инверсий и слабыми скоростями ветра [5, 12–14].

Для острова Русский характерно преобладание природных частиц, что обусловлено географическими и экономическими предпосылками, здесь в меньшей степени присутствуют ТВЧ техногенного происхождения. Наибольшее воздействие на качество воздушной среды оказывают грунтовые дороги со слабой транспортной нагрузкой (50–60 авт./час), которые повышают уровень запыленности в окрестностях места отбора проб [5, 15].

Таблица 2

Содержание твердых взвешенных частиц (мкг/м<sup>3</sup>) в приземном слое атмосферного воздуха  
континентальной и островной части города Владивостока

| ТВЧ (мкг/м <sup>3</sup> ) | Островная часть города | Континентальная часть города    |
|---------------------------|------------------------|---------------------------------|
| <0,1 мкм                  | 0,00 (0; 0,100)        | 0,50 (0,20; 0,88)<br>p=0,01     |
| 0,1-1 мкм                 | 0,70 (0,34; 1,74)      | 2,21 (2,15; 3,05)<br>p=0,04     |
| 1-2,5 мкм                 | 4,12 (3,82; 4,55)      | 8,70 (6,88; 9,41)<br>p=0,004    |
| 2,5-4 мкм                 | 1,42 (0,94; 3,21)      | 5,70 (4,68; 7,30)<br>p=0,02     |
| 4-10 мкм                  | 40,24 (39,22; 43,58)   | 37,1 (34,98; 38,32)<br>p=0,0005 |
| 10-25 мкм                 | 22,48 (16,71; 25,15)   | 9,60 (7,32; 13,64)<br>p=0,005   |
| 25-100 мкм                | 0,70 (0,60; 0,96)      | 0,00 (0; 0,20)<br>p=0,0006      |
| 100-500 мкм               | 2,04 (0,98; 3,28)      | 0,30 (0,10; 0,55)<br>p=0,01     |
| 500-700 мкм               | 4,27 (3,98; 4,44)      | 5,40 (5,31; 5,77)<br>p=0,0008   |
| 700-1000 мкм              | 8,14 (6,93; 8,55)      | 9,30 (9,02; 9,68)<br>p=0,0001   |
| 1000-2000 мкм             | 15,86 (12,93; 18,59)   | 10,50 (8,20; 11,15)<br>p=0,0006 |

Оценка относительного процентного содержания ТВЧ в приземном слое атмосферного воздуха в районе с повышенной техногенной нагрузкой показала существенное преобладание ТВЧ диаметром менее 0,1 мкм, а также от 0,1 до 4 мкм. В г. Владивостоке суммарный показатель содержания частиц 0–4 мкм составил 43,5%, на острове Русском – 13,8%. Такие различия могут быть связаны с тем, что ТВЧ диаметром менее 4 мкм наиболее ассоциируются с результатами сжигания бензина и дизельного топлива, а также промышленными процессами, что характеризует район с высокой техногенной нагрузкой. Частицы обозначенного диапазона могут иметь и природное происхождение: эрозия почв, морские аэрозоли, грибы, бактерии, пыльца, а также сжигание древесины и угля в холодное время года, что

характерно для о. Русский [4, 5, 16, 17]. Это обуславливает содержание данных ТВЧ в приземном слое атмосферного воздуха островной части города. В то же время массовая концентрация микровзвесей до 4 мкм в г. Владивостоке в 2,7 раза выше, чем на о. Русский. В результате анализа ТВЧ диапазона 4–10 мкм установлено, что массовая концентрация частиц в материковой части города на 8% меньше, чем в островной части. Таким образом, наибольшая суммарная массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм, которые являются наиболее опасными при формировании бронхолегочных заболеваний, наблюдается в г. Владивостоке (54,21 мкг/м<sup>3</sup>) по сравнению с о. Русский (46,48 мкг/м<sup>3</sup>). Загрязнение воздуха зависит от интенсивности выбросов автотранспорта и энергетических предприя-

тий, расстояния до водоемов, площади зеленых насаждений. Патогенное воздействие, наблюдаемое в континентальной части города с интенсивным загрязнением воздуха, в основном связано с техногенными мелкодисперсными частицами.

ТВЧ 10-25 мкм, как в относительной, так и в абсолютной концентрации, преобладают на о. Русский (16,7%; 22,48 мкг/м<sup>3</sup>) по сравнению с континентальной частью г. Владивостока (14,8%; 9,6 мкг/м<sup>3</sup>), что обусловлено наличием запыленных грунтовых дорог на острове [15]. Необходимо отметить невысокое содержание фракций 25-100 мкм и 100-500 мкм для обоих исследуемых районов. Для материковой части суммарная массовая концентрация этих фракций составила 0,3 мкг/м<sup>3</sup>, для островной – 2,74 мкг/м<sup>3</sup>. Для фракций 500-700, 700-1000, 1000-2000 суммарный показатель в г. Владивостоке – 25,2 мкг/м<sup>3</sup>, на острове Русском – 28,27 мкг/м<sup>3</sup>. ТВЧ такого диаметра имеют свойство быстро оседать. Согласно литературным данным частицы диаметром более 10 мкм часто представлены остатками насекомых, крупной пылью, песком, гравием и пылью деревьев. В условиях техногенной среды ТВЧ этих диапазонов преимущественно состоят из сажи, цементной пыли, частиц, образовавшихся в результате износа автомобильных шин и дорожного покрытия [4, 5, 16, 17].

Оценка влияния ТВЧ на здоровье человека и его адаптационный потенциал зависит от природы происхождения частиц и их способности в зависимости от аэродинамического диаметра проникать в организм и вызывать нарушение функционирования его систем. Показано, что наибольшим патогенным потенциалом обладают частицы PM<sub>2,5</sub>, в то время как фракции PM<sub>>10</sub> при попадании в дыхательные пути задерживаются в носовой полости и выводятся из организма. При этом доказано, что здоровое население в городской среде обладает лучшей компенсаторной реакцией, тогда как лица с бронхолегочной патологией не способны выработать адекватную защитную реакцию в ответ на воздействие ТВЧ [4, 5, 8, 18]. Ранее нами было установлено, что ТВЧ из выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания могут способствовать формированию воспалительного процесса, вызывать изменения в иммунной системе, способствовать развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний [18, 19]. Эти данные подкрепляются установленными корреляциями между загрязнением территорий микроразмерными частицами и возрастанием заболеваемости бронхолегочной патологией. По оценкам ВОЗ совокуп-

ное воздействие загрязнения окружающего воздуха и воздуха внутри жилых помещений является фактором преждевременной смерти 6,7 миллиона человек в год, 25% из которых – по причинам респираторного происхождения [1]. При мониторинге качества воздуха в странах с высоким уровнем дохода, воздух не соответствует рекомендациям ВОЗ по относительному содержанию PM<sub>2,5</sub> или PM<sub>10</sub> в 17% случаев. В странах с низким или средним уровнем дохода качество воздуха соответствует рекомендуемым ВОЗ пороговым значениям менее чем в 1% городов [1]. Результаты эпидемиологических исследований, проведенных в разных странах мира, подтверждают высокий риск развития и обострения бронхолегочных заболеваний, таких как бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких, а также увеличение смертности от болезней органов дыхания [1, 8, 9, 18].

### Заключение

В результате определения фракционного содержания твердых взвешенных частиц в приземном слое воздуха районов г. Владивостока с высокой и относительно невысокой техногенной нагрузкой выделены диапазоны размерности с учетом возможного происхождения ТВЧ, предполагаемыми патофизиологическими особенностями воздействия на организм и риском формирования респираторных патологий. Выявлено, что для территории с высокой техногенной нагрузкой характерно наибольшее присутствие в приземном слое атмосферного воздуха частиц антропогенного происхождения диаметром до 10 мкм, которые оказывают максимальное влияние на организм. В районе с относительно невысокой техногенной нагрузкой в воздух выделяется большее содержание частиц природного генеза более крупных фракций. Таким образом, изучение параметров ТВЧ конкретных территорий позволит в дальнейшем разработать прогностические критерии формирования экологообусловленных патологий органов дыхания.

### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

### Источники финансирования

Исследование проводилось без участия спонсоров

### Funding Sources

This study was not sponsored

## ЛИТЕРАТУРА

1. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021. 300 p.
2. Bralewska K., Rogula-Kozłowska W., Mucha D., Badyda A.J., Kostrzon M., Bralewski A., Biedugnis S. Properties of particulate matter in the air of the Wieliczka salt mine and related health benefits for tourists // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2022. Vol.19, Iss.2. Article number: 826. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020826>
3. Kim K.H., Kabir E., Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter // Environ. Int.

2015. №74. P.136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>

4. 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. Vol.8, №1. Article number: e0304. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2019.0304>

5. Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Barskova L.S., Gvozdenko T.A., Mineeva E.E. Estimation of the size distribution of suspended particulate matters in the urban atmospheric surface layer and its influence on bronchopulmonary pathology // Atmosphere. 2021. Vol.12, Iss.8. Article number: 1010. <https://doi.org/10.3390/atmos12081010>

6. Ibrir A., Kerchich Y., Hadidi N., Merabet H., Hentabli M. Prediction of the concentrations of PM1, PM2.5, PM4, and PM10 by using the hybrid dragonfly-SVM algorithm // Air Qual. Atmos. Health. 2021. Vol.14. P.313–323. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00936-1>

7. Rumchev K., Soares M., Zhao Y., Reid C., Huxley R. The association between indoor air quality and adult blood pressure levels in a high-income setting // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2018. Vol.15, Iss.9. Article number: 2026. <https://doi.org/10.3390/ijerph15092026>

8. Veremchuk L.V., Yankova V.I., Vitkina T.I., Nazarenko A.V., Golokhvast K.S. Urban air pollution, climate and its impact on asthma morbidity // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2016. Vol.6, Iss.1. P.76–79. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.001>

9. Thangavel P., Park D., Lee Y.C. Recent insights into particulate matter (PM2.5)-mediated toxicity in humans: an overview // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2022. Vol.19, Iss.12. Article number: 7511. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127511>

10. IQAir. How to monitor outdoor air quality. 2021. URL: <https://www.iqair.com/bh/newsroom/how-to-monitor-outdoor-air-quality>

11. Янькова В.И., Гвозденко Т.А., Голохваст К.С., Чайка В.В., Городный В.А. Гранулометрический анализ атмосферных взвесей экологически благополучного и неблагополучного районов Владивостока // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2014. Т.56, № 2. С.62–66. EDN: SIELJT

12. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2022 году / Правительство Приморского края. Владивосток. 2023. 269 с.

13. Yang L., Zhang L., Chen L., Han C., Akutagawa T., Endo O., Yamauchi M., Neroda A., Toriba A., Tang N. Polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in five East Asian cities: Seasonal characteristics, health risks, and yearly variations // Environ. Pollut. 2021. Vol.287. Article number: 117360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117360>

14. Wang Y., Zhang H., Zhang X., Bai P., Neroda A., Mishukov V.F., Zhang L., Hayakawa K., Nagao S., Tang N. PM-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of Vladivostok: Seasonal Variation, sources, health risk assessment and long-term variability // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2022. Vol.19, Iss.5. Article number: 2878. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052878>

15. Golokhvast K.S. Atmospheric suspensions in the cities of the Far East of Russia / Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2013. 178 p.

16. Beier C.M., Caputo J., Lawrence G.B., Sullivan T.J. Loss of ecosystem services due to chronic pollution of forests and surface waters in the Adirondack region (USA) // Journal of Environmental Management. 2017. Vol.191. P.19–27. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.069>

17. Schiffer J.M., Mael L.E., Prather K.A., Amaro R.E., Grassian V.H. Sea spray aerosol: where marine biology meets atmospheric chemistry // ACS Cent. Sci. 2018. Vol.4, Iss.12. P.1617–1623. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.8b00674>

18. Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Golokhvast K.S. Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population // Russian Open Medical Journal. 2017. Vol.6, №4. Article number: e0402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>

19. Chernyshev V.V., Zakharenko A.M., Ugay S.M., Hien T.T., Hai L.H., Kholodov A.S., Burykina T.I., Stratidakis A.K., Mezhuiev Y.O., Tsatsakis A.M., Golokhvast K.S. Morphologic and chemical composition of particulate matter in motorcycle engine exhaust // Toxicol. Rep. 2018. Vol.5. P.224–230. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.003>

## REFERENCES

1. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

2. Bralewska K., Rogula-Kozłowska W., Mucha D., Badyda A.J., Kostrzon M., Bralewski A., Biedugnis S. Properties of particulate matter in the air of the Wieliczka salt mine and related health benefits for tourists. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 2022; 19(2):826. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020826>

3. Kim K.H., Kabir E., Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ. Int.* 2015; 74:136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>

4. 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):e0304. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2019.0304>
5. Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Barskova L.S., Gvozdenko T.A., Mineeva E.E. Estimation of the size distribution of suspended particulate matters in the urban atmospheric surface layer and its influence on bronchopulmonary pathology. *Atmosphere* 2021; 12(8):1010. <https://doi.org/10.3390/atmos12081010>.
6. Ibrir, A., Kerchich, Y., Hadidi, N., Merabet H, Hentabli M. Prediction of the concentrations of PM1, PM2.5, PM4, and PM10 by using the hybrid dragonfly-SVM algorithm. *Air Qual. Atmos. Health* 2021; 14:313–323. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00936-1>
7. Rumchev K., Soares M., Zhao Y., Reid C., Huxley R. The association between indoor air quality and adult blood pressure levels in a high-income setting. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 2018; 15(9):2026. <https://doi.org/10.3390/ijerph15092026>
8. Veremchuk L.V., Yankova V.I., Vitkina T.I., Nazarenko A.V., Golokhvast K.S. Urban air pollution, climate and its impact on asthma morbidity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 2016; 6(1):76–79. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.001>
9. Thangavel P., Park D., Lee Y.C. Recent insights into particulate matter (PM2.5)-mediated toxicity in humans: an overview. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 2022; 19(12): 7511. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127511>
10. IQAir. How to monitor outdoor air quality. 2021. Available at: <https://www.iqair.com/bh/newsroom/how-to-monitor-outdoor-air-quality>
11. Yankova V.I., Gvozdenko T.A., Golokhvast K.S., Chaika V.V., Gorodnyi V.A. [Granulometric analysis of atmospheric particles from environmentally favorable and problematic areas of Vladivostok] *Zdorov'e. Medicinskaya ekologiya. Nauka* 2014; 56(2):62–66 (in Russian).
12. [Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2022. Government of Primorsky Krai]. Vladivostok; 2023 (in Russian).
13. Yang L., Zhang L., Chen L., Han C., Akutagawa T., Endo O., Yamauchi M., Neroda A., Toriba A., Tang N. Polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in five East Asian cities: Seasonal characteristics, health risks, and yearly variations. *Environ. Pollut.* 2021; 287:117360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117360>
14. Wang Y., Zhang H., Zhang X., Bai P., Neroda A., Mishukov V.F., Zhang L., Hayakawa K., Nagao S., Tang N. PM-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of Vladivostok: Seasonal Variation, sources, health risk assessment and long-term variability. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 2022; 19(5): 2878. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052878>
15. Golokhvast K.S. Atmospheric suspensions in the cities of the Far East of Russia. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2013.
16. Beier C.M., Caputo J., Lawrence G.B., Sullivan T.J. Loss of ecosystem services due to chronic pollution of forests and surface waters in the Adirondack region (USA). *Journal of Environmental Management* 2017; 191:19–27. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.069>
17. Schiffer J.M., Mael L.E., Prather K.A., Amaro R.E., Grassian V.H. Sea spray aerosol: Where marine biology meets atmospheric chemistry. *ACS Cent. Sci.* 2018; 4(12):1617–1623. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.8b00674>
18. Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Golokhvast K.S. Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population. *Russian Open Medical Journal* 2017; 6(4):e0402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>
19. Chernyshev V.V., Zakharenko A.M., Ugay S.M., Hien T.T., Hai L.H., Kholodov A.S., Burykina T.I., Stratidakis A.K., Mezhuiev Y.O., Tsatsakis A.M., Golokhvast K.S. Morphologic and chemical composition of particulate matter in motorcycle engine exhaust. *Toxicol. Rep.* 2018; 5:224–230. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.003>

---

**Информация об авторах:**

**Елена Викторовна Кондратьева**, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов, Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения; e-mail: elena.v.kondratyeva@yandex.ru

**Author information:**

**Elena V. Kondratyeva**, PhD (Biol.), Staff Scientist, Laboratory of Medical Ecology and Recreational Resources, Vladivostok Branch of the Far Eastern Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment; e-mail: elena.v.kondratyeva@yandex.ru

---

**Татьяна Исааковна Виткина**, д-р биол. наук, профессор РАН, зав. лабораторией медицинской экологии и рекреационных ресурсов, Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения; e-mail: tash30@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1009-9011>

**Tatiana I. Vitkina**, PhD, DSc (Biol.), Professor of RAS, Head of Laboratory of Medical Ecology and Recreational Resources, Vladivostok Branch of the Far Eastern Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment; e-mail: tash30@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1009-9011>

**Людмила Васильевна Веремчук**, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов, Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения; e-mail: [veremchuk\\_lv@mail.ru](mailto:veremchuk_lv@mail.ru); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6372-6560>

**Lyudmila V. Veremchuk**, PhD, DSc (Biol.), Leading Staff Scientist, Laboratory of Medical Ecology and Recreational Resources, Vladivostok Branch of the Far Eastern Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment; e-mail: [veremchuk\\_lv@mail.ru](mailto:veremchuk_lv@mail.ru); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6372-6560>

---

*Поступила 26.12.2023  
Принята к печати 16.02.2024*

*Received December 26, 2023  
Accepted February 16, 2024*