

УДК 616.23/.24-002:612.017.1:614.715

DOI: 10.36604/1998-5029-2023-88-27-34

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЫЛЕВЫХ ФРАКЦИЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ИММУННУЮ СИСТЕМУ ПАЦИЕНТОВ С БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ

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

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.** Изучение нарушений, формирующихся в иммунной системе под воздействием техногенных факторов, остается весьма актуальной проблемой. **Цель.** Выявление критериев воздействия триггерных пылевых фракций атмосферного воздуха г. Владивостока (в диапазонах: 0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, >700 мкм) на иммунную систему человека при заболеваниях органов дыхания. **Материалы и методы.** Объектами исследования явились фракционный состав твердых взвешенных частиц (ТВЧ) в воздушной среде г. Владивостока и иммунная система жителей, имеющих бронхолегочную патологию. В исследование включено 320 человек: лица с бронхиальной астмой (БА) – 112 человек, хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) стабильного течения – 107 человек, здоровые лица – 101 человек. С использованием модуля «Множественная корреляция» определяли показатели, характеризующие интегральную ответную реакцию параметров иммунной системы на воздействие ТВЧ. **Результаты.** Полученные результаты по группам обследуемых показали различие в количестве факторов воздействия и иммунных ответов на их влияние. Пылевые фракции воздушной среды формируют наибольший патогенный эффект у лиц с ХОБЛ. Отмечается негативная реакция на все исследуемые пылевые фракции, однако реакция иммунной системы максимальна в диапазонах от 0 до 100 мкм ( $N_p=13$ ,  $D_n\%=0,13-0,19\%$ ). На лиц с БА максимальное патогенное воздействие оказывают нанопылевые фракции 0-1 мкм ( $N_p=4$ ,  $D_n=0,2\%$ ). **Заключение.** Пылевые фракции негативно влияют на иммунную систему всех исследуемых когорт населения г. Владивостока. Однако у лиц с заболеваниями органов дыхания пылевое загрязнение воздуха вызывает более выраженную ответную реакцию системы иммунитета.

**Ключевые слова:** твердые взвешенные частицы, пылевые фракции атмосферного воздуха, бронхолегочная патология, иммунная система.

## IMPACT OF AIR DUST FRACTIONS ON THE IMMUNE SYSTEM IN PATIENTS WITH BRONCHOPULMONARY PATHOLOGY

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

Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment, 73g Russkaya Str., Vladivostok, 690105, Russian Federation

**SUMMARY. Introduction.** The study of disorders that develop in the immune system under the influence of technogenic factors remains a very urgent problem. **Aim.** To identify criteria for the impact of trigger dust fractions of the atmospheric air in Vladivostok (in the ranges: 0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, >700 microns) on the human immune system with respiratory diseases. **Materials and methods.** The objects of the study were the fractional composition of suspended particulate matter (SPM) in the air of Vladivostok and the immune system of residents with broncho-

### 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., Веремчук Л.В., Виткина Т.И. Воздействие пылевых фракций воздушной среды на иммунную систему пациентов с бронхолегочной патологией // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2023. Вып.88. С.27–34. DOI: 10.36604/1998-5029-2023-88-27-34

### For citation:

Kondratyeva E.V., Veremchuk L.V., Vitkina T.I. Impact of air dust fractions on the immune system in patients with bronchopulmonary pathology. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2023; (88):27–34 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2023-88-27-34

pulmonary pathology. The study included 320 people: patients with asthma – 112, chronic obstructive pulmonary disease (COPD) of a stable course – 107, healthy people – 101. Using the multiple correlation, the indicators characterizing the integral response of the immune system parameters to the impact of SPM were determined. **Results.** The results obtained for the groups of subjects showed a difference in the number of factors of influence and immune responses to their influence. Dust fractions of the air form the greatest pathogenic effect in individuals with COPD. There is a negative reaction to all the studied dust fractions, however, the reaction of the immune system is maximum in the range from 0 to 100 microns ( $N_r=13$ ,  $D_p=0.13-0.19\%$ ). For the individuals with asthma, the maximum pathogenic effect is exerted by nano-fractions of 0-1  $\mu\text{m}$  ( $N_r=4$ ,  $D_p=0.2\%$ ). **Conclusion.** Dust fractions negatively affect the immune system of all studied cohorts of the population of Vladivostok. However, in the individuals with respiratory diseases, dust air pollution causes a more pronounced response of the immune system.

*Key words:* suspended particulate matters, dust fractions of atmospheric air, bronchopulmonary pathology, the immune system.

Атмосферный воздух – один из важнейших факторов среды обитания, оказывающий постоянное, повседневное влияние на человека. Значительная часть рисков для здоровья связана с воздействием воздуха и зависит от его качества. Согласно существующим данным, загрязняющие вещества атмосферного воздуха увеличивают заболеваемость населения на 30-40%, снижают среднюю продолжительность жизни примерно на 1 год, а в наиболее загрязненных городах – на 4 года [1]. Твердые взвешенные частицы (ТВЧ) в воздухе состоят из множества токсичных загрязнителей (органические виды углерода и алканы, металлы, сульфаты, нитраты и т.д.). ТВЧ обычно подразделяются на частицы с аэродинамическим диаметром до 1 мкм (PM1), 2,5 мкм (PM2,5) и 10 мкм (PM10). В основном частицы PM10 состоят из оксидов и частиц пыли, частицы PM2,5 – из углерода, сульфатов, нитратов и силикатов [2–4].

В результате воздействия ТВЧ на бронхолегочную систему происходит образование активных форм кислорода, формирование окислительного стресса, активация клеточных сигнальных путей, изменения процессов антиоксидантной защиты, что приводит к воспалению и нарушению функционирования дыхательной системы [5]. Чтобы защитить организм человека от негативных воздействий окружающей среды существует множество приспособительных механизмов, одним из которых является высокочувствительная иммунная система, представляющая исключительно сложную многокомпонентную систему из быстро делящихся и покоящихся клеток. Одним из первых барьеров при воздействии факторов окружающей среды является иммунная система, при этом ее чувствительность к техногенным загрязнителям воздушной городской среды различна [5, 6]. Это обуславливает формирование в организме донозологических изменений, что отражается в активации процессов иммунологической реактивности, которые, с одной стороны, являются маркерами неблагополучия условия обитания, а с другой – могут способствовать развитию патологии и утяжелению уже имеющихся заболеваний [7]. Таким образом, иммунная система является критической мишенью для целого ряда техногенных загрязнителей [8–12]. Поэтому выделение триггерных

техногенных факторов и определение критериев их воздействия на иммунную систему позволят проводить лечебно-профилактические мероприятия для снижения риска обострения тяжелых бронхолегочных заболеваний [12, 13].

Целью исследования явилось выявление критериев воздействия триггерных пылевых фракций атмосферного воздуха г. Владивостока (в диапазонах: 0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, >700 мкм) на иммунную систему человека при заболеваниях органов дыхания.

#### Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились фракционный состав ТВЧ в воздушной среде г. Владивостока и иммунная система жителей с бронхолегочной патологией. Загрязнение атмосферы оценивали по аэрозольным взвесям твердых частиц, собранных в виде атмосферных осадков (снега) в жилых районах города, в которых располагаются объекты загрязнения (автомобильные трассы с высоким трафиком, энергетические и промышленные объекты, расположенные в 200-800 м по преобладающей розе ветров). Пылевые взвеси оценивали по процентному содержанию фракций (в диапазонах: 0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, >700 мкм) относительно общей массы ТВЧ в пробе [10, 14, 15].

В исследование включено 320 человек, проживающих в районах отбора проб, из них 101 практически здоровые лица, 112 – пациенты с бронхиальной астмой (БА) контролируемого и частично контролируемого течения, легкой и средней степени тяжести, 107 – больные хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) стабильного течения. Средний возраст пациентов составил  $46,5 \pm 4,8$  года. Диагноз БА и ХОБЛ выставлен в соответствии с Глобальной стратегией лечения и профилактики бронхиальной астмы, Глобальной стратегией диагностики, лечения и профилактики хронической обструктивной болезни легких и Международной классификации болезней 10-го пересмотра. Исследование было проведено с учетом требований Хельсинкской декларации (2013), одобрено этическим комитетом. На проведение обследования от каждого пациента было получено добровольное ин-

формированное согласие. В исследование включались лица, проживающие не менее 5 лет на исследуемой территории, в радиусе 1 км от точки отбора проб. Критериями исключения из исследования явилось наличие у пациентов острых инфекционных заболеваний, хронических заболеваний внутренних органов в фазе обострения, хронической сердечной недостаточности в стадии декомпенсации.

Биологическим материалом служила венозная кровь. Определяли 22 параметра иммунной системы: методом проточной цитофлуориметрии на цитометре BD FACSCanto II (USA) определяли параметры клеточного иммунитета ( $CD3^+$ ,  $CD4^+$ ,  $CD8^+$ ,  $CD4^+/CD8^+$ ,  $CD19^+$ ,  $CD16^+56^+$ ); уровень сывороточных цитокинов – фактор некроза опухоли  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), интерферон  $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ), интерлейкины (IL) 4,6,10,17A (BD Cytometric Bead Array, USA). Уровень общего IgE в сыворотке крови оценивали иммуноферментным методом с использованием набора фирмы «Хема Медика» (Россия). Фагоцитарную активность нейтрофилов определяли с помощью набора Phagotest (BD, USA). Кислородзависимые механизмы бактерицидности нейтрофилов периферической крови оценивали, используя реактивы Burstest (Phagoburst) (BD, USA).

Определение воздействия фракционных взвешенных частиц на иммунную систему обследуемых проводили на основе использования модуля «Множественная корреляция» в программе Statistica 10. Были сформированы межсистемные (человек – среда) матрицы размером  $7 \times 22$  (фракции пылевых частиц – показатели иммунного статуса), в которых отбирали статистически значимые ( $p < 0,05$ ) корреляционные связи ( $r$ ), характеризующие наиболее весомые факторы воздействия на иммунную систему. Определяли показатель активности иммунной реакции ( $N_p$ ), представленный количеством статистически значимых  $r$  ( $p < 0,05$ ) в сформированной матрице.

Для выделения триггерных пылевых фракций определяли покомпонентный показатель ответной реакции  $D_n\%$  ( $D_n\% = \frac{\sum \text{абсолютных величин } r}{\sum R} \times 100$ ), который характеризовал отношение суммы статистически значимых связей к полной сумме гипотетически возможных значений в прямоугольной матрице связей (при  $R=1,0$ ). Интегральный показатель  $D_{ин}\%$  рассчитывается аналогично  $D_n\%$ , позволяя выявлять ответную иммунную реакцию на совокупное действие пылевых фракций воздушной среды в различных группах (БА, ХОБЛ, контроль).

### Результаты исследования

Проведенные расчеты (табл.) демонстрируют триггерную специфичность и различие диапазонов воздействия пылевых частиц (%) на иммунную систему здоровых лиц и пациентов с бронхолегочной патологией.

Полученные результаты показали различие в количестве факторов воздействия и иммунных ответов на

их влияние по группам обследуемых. Так, пациенты с ХОБЛ наиболее активно реагируют на действие всех пылевых фракций (7 фракций), наименьшее число воздействующих факторов отмечено у лиц с БА (5 фракций). Анализ активности иммунной реакции у больных БА показал наибольший ответ на действие нанофракций от 0-1 мкм (4 реакции) и 50-100 мкм (5 реакций). У лиц с ХОБЛ максимальная активность также сосредоточена на фракциях от 0-100 мкм. Кроме того, имеется ответ на крупные фракции  $>100$  мкм. В контрольной группе установлена повышенная активность иммунной реакции на более крупные фракции (400-700 мкм).

Анализ покомпонентного показателя  $D_n\%$  позволил выявить триггерные показатели. Так, у лиц с БА отмечен максимальный показатель  $D_n\% = 0,2; 0,23$  на пылевые фракции 0-1 мкм и 50-100 мкм, соответственно. В группе ХОБЛ показатель  $D_n\%$  не превышает 0,19, причем наибольшие показатели  $D_n\%$  относятся к факторам от 0 до 100 мкм ( $D_n\% = 0,13-0,19$ ).

Для выделения наиболее уязвимых к пылевому воздействию обследуемых групп использовали интегральные показатели  $D_{ин}\%$ . В группе пациентов с ХОБЛ установлены максимальные величины ( $D_{ин}\% = 0,81$ ), в группе БА отмечен средний показатель  $D_{ин}\% = 0,67$  при  $N_p = 13$ , у здоровых лиц иммунный ответ наименьший –  $D_{ин}\% = 0,53$  при максимальном количестве реакций  $N_p = 16$ .

При анализе критериев воздействия пылевых фракций на иммунную систему отмечена достаточно четкая тенденция увеличения диапазонов влияния до 59,17% (для фракции 10-50 мкм) у здоровых лиц, далее диапазон для той же фракции отмечается у больных ХОБЛ (34,5%), а у пациентов с БА он максимально снижен до 3,9%.

### Обсуждение результатов исследования

Определение характера, интенсивности и критериев пылевого воздействия на иммунный статус, проявляющегося повышением активности или депрессией иммунной реакции, проводилось на основании оценки совокупного отклика показателей на покомпонентное влияние пылевых фракций и выделение интегрального показателя иммунного ответа на загрязнение воздушной среды ТВЧ. Известно, что мелкодисперсная пыль при вдыхании способна длительно задерживаться в глубоких отделах дыхательного тракта [16]. При воздействии ТВЧ происходит локальная активация иммунных клеток бронхолегочной системы, что ведет к трансмиграции этих клеток, высвобождению цитокинов и развитию системного воспаления. Особенно уязвимой к воздействию пылевых фракций является когорта лиц с респираторной патологией [17, 18]. Невозможность быстрого выведения микроразмерных ТВЧ из организма приводит к их накоплению, что может способствовать развитию и прогрессированию бронхолегочной патологии [5, 19, 20].

Таблица

Диапазоны воздействия пылевых фракций атмосферного воздуха на иммунную систему здоровых лиц и пациентов с бронхолегочной патологией, проживающих в г. Владивостоке

| БА                                           |                  |                                   | ХОБЛ                                         |               |                                   | Контроль                                     |               |                                   |
|----------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| Диапазоны влияния фракций пыли $M \pm m$ (%) | $N_p$            | $D_{\text{п}} \%$                 | Диапазоны влияния фракций пыли $M \pm m$ (%) | $N_p$         | $D_{\text{п}} \%$                 | Диапазоны влияния фракций пыли $M \pm m$ (%) | $N_p$         | $D_{\text{п}} \%$                 |
| <b>0-1</b><br>1,22-2,23                      | 4                | <b>0,2</b>                        | <b>0-1</b><br>1,27-6,12                      | 3             | <b>0,18</b>                       |                                              |               |                                   |
| <b>1-10</b><br>12,32-17,84                   | 1                | 0,04                              | <b>1-10</b><br>4,28-21,25                    | 2             | 0,13                              | <b>1-10</b><br>8,01-20,87                    | 2             | 0,1                               |
| <b>10-50</b><br><b>35,36-39,21</b>           | 2                | 0,09                              | <b>10-50</b><br><b>32,43-66,97</b>           | 2             | 0,13                              | <b>10-50</b><br><b>15,5-74,67</b>            | 2             | 0,08                              |
| <b>50-100</b><br>1,63-4,18                   | 5                | <b>0,23</b>                       | <b>50-100</b><br>3,14-4,52                   | 3             | <b>0,19</b>                       | <b>50-100</b><br>1,82-5,07                   | 3             | <b>0,13</b>                       |
|                                              |                  |                                   | <b>100-400</b><br>0,48-0,54                  | 1             | 0,06                              | <b>100-400</b><br>4,81-13,59                 | 2             | 0,07                              |
|                                              |                  |                                   | <b>400-700</b><br>0,47-0,59                  | 1             | 0,06                              | <b>400-700</b><br>0,46-25,3                  | 5             | <b>0,19</b>                       |
| <b>&gt;700</b><br>0,49-0,55                  | 1                | 0,004                             | <b>&gt;700</b><br>7,76-9,04                  | 1             | 0,06                              | <b>&gt;700</b><br>0,44-9,23                  | 2             | 0,08                              |
| Кол-во пылевых фракций<br>5                  | $\sum N_p$<br>13 | $D_{\text{ин}} \%$<br><b>0,67</b> | Кол-во пылевых фракций<br>7                  | $\sum N_p$ 13 | $D_{\text{ин}} \%$<br><b>0,81</b> | Кол-во пылевых фракций<br>6                  | $\sum N_p$ 16 | $D_{\text{ин}} \%$<br><b>0,53</b> |

Согласно полученным результатам, наибольшее патогенное воздействие пылевые фракции оказывают на лиц с ХОБЛ ( $D_{\text{ин}} \%=0,81$ ) и БА ( $D_{\text{ин}} \%=0,67$ ). В группе контроля иммунная система также негативно реагирует на загрязнение воздуха пылью, но с меньшей интенсивностью ( $D_{\text{ин}} \%=0,53$ ). Полученный результат показывает, что пылевое загрязнение атмосферы неблагоприятно для всех исследуемых когорт населения урбанизированной территории.

Анализ влияния всех диапазонов фракционного состава пыли на иммунную систему продемонстрировал наибольшее патогенное действие с преимущественным влиянием нано- и средних фракций (0-500 мкм) в группе лиц с ХОБЛ, что говорит о наибольшей уязвимости иммунной системы при данном заболевании.

Имеются сведения, что пылевое загрязнение атмосферного воздуха играет большую роль в патогенезе астмы, при этом стимулируется формирование атопического компонента и иммунный ответ имеет избирательный характер к отдельным повреждающим агентам окружающей среды [21, 22]. Наибольшее патогенное воздействие на больных БА оказывают нанофракции 0-1 мкм ( $N_p=4$ ,  $D_{\text{п}}=0,2\%$ ), при небольшом их содержании в воздухе (1,22-2,23%), которые прони-

кают глубоко в легкие, нарушают их функционирование, стимулируя высокочувствительную иммунную систему. Фракции в диапазоне 50-100 мкм ( $N_p=5$ ,  $D_{\text{п}}=0,23\%$ , 1,63-4,18%) также активно действуют на иммунную систему пациентов с БА. Данную зависимость можно объяснить тем, что средние фракции могут травмировать верхние дыхательные пути, формируя иммунный ответ организма [23].

Пылевые фракции воздушной среды формируют наибольший патогенный эффект у лиц с ХОБЛ. Группа с ХОБЛ негативно реагирует на все исследуемые пылевые фракции, однако иммунная реакция также максимальна в диапазонах от 0 до 100 мкм ( $N_p=13$ ,  $D_{\text{п}}=0,13-0,19\%$ ), в то время как в диапазоне >100 мкм  $D_{\text{п}} \%$  не превышает 0,6%. Таким образом, пациентов с ХОБЛ можно считать наиболее уязвимой когортой при воздействии ТВЧ воздушной среды.

Контрольная группа также проявляет выраженную активность иммунной реакции ( $N_p=16$ ), реагируя, в основном, на средние и крупные пылевые фракции в диапазоне 400-700 мкм ( $N_p=5$ ).  $D_{\text{п}} \%$  составляет 0,19% при общем высоком содержании пылевых частиц в воздушной среде (0,46-74,67%). Однако согласно уровню интегрального иммунного ответа  $D_{\text{ин}} (0,53\%)$ , здоро-



вые лица гораздо легче переносят пылевое загрязнение воздуха, что указывает на повышение компенсаторно-приспособительных механизмов организма.

### Заключение

Анализ корреляционных связей позволил определить интенсивность ответной реакции комплекса иммунных показателей на воздействие различных фракций ТВЧ. В ходе исследования выявлен интегральный и покомпонентный патогенный эффект воздействия пылевых фракций на иммунную систему. Установлено, что пылевые фракции негативно влияют на все исследованные когорты населения г. Владивостока, однако у лиц с заболеваниями органов дыхания отмечается повышенный ответ иммунной системы. Причем больные БА реагируют лишь на отдельные диапазоны пылевых фракций, что указывает на избирательность, возможно ассоциированную с атопическим компонентом заболевания. У пациентов с ХОБЛ патогенное действие на иммунную систему оказывают

пылевые частицы всех диапазонов.

Проведенный анализ позволил выделить критерии воздействия триггерных пылевых фракций атмосферного воздуха г. Владивостока на иммунную систему населения с бронхолегочной патологией, что позволяет прогнозировать формирование и утяжеление экологозависимой бронхолегочной патологии и задействовать комплекс профилактических мероприятий.

### 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. Писарева Л.Ф., Ананина О.А., Одинцова И.Н., Жуйкова Л.Д. Загрязнение городов и здоровье населения (обзор литературы) // Профилактическая медицина. 2016. Т.19, №4. С.60–64. EDN: WMZJLF. <https://doi.org/10.17116/profmed201619460-64>
2. Burnett R., Chen H., Szyszkowicz M., Fann N., Hubbell B., Pope C.A. 3rd, Apte J.S., Brauer M., Cohen A., Weichenthal S., Coggins J., Di Q., Brunekreef B., Frostad J., Lim S.S., Kan H., Walker K.D., Thurston G.D., Hayes R.B. et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter // Proc. Natl Acad. Sci. USA. 2018. Vol.115, Iss.38. P.9592–9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>. PMID: 30181279; PMCID: PMC6156628.
3. Harrison R.M., Yin J. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? // Sci. Total Environ. 2000. Vol.249, Iss.1-3. P.85–101. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00513-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00513-6). PMID: 10813449.
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, Iss.3. Article number: e0304. <https://doi.org/10.15275/ru-somj.2019.0304>
5. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Kondratyeva E.V., Veremchuk L.V. Mechanism of Response of Alveolar Macrophages in Wistar Rats to the Composition of Atmospheric Suspensions // Atmosphere. 2022. Vol.13, Iss.9. Article number: 1500. <https://doi.org/10.3390/atmos13091500>
6. Кайтмазова Н.К. Динамика показателей иммунитета у детей с обструктивным бронхитом // Современные вопросы биомедицины. 2022. Т.6, №1. EDN: YWBBDM. [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_01\\_2](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_2)
7. Потапнев М.П. Как работает иммунная система. Часть I. Механизмы врожденного иммунитета // Здоровоохранение (Минск). 2020. №4(877). С.37–52. EDN: WCPBIU.
8. Барскова Л.С., Виткина Т.И., Веремчук Л.В., Гвозденко Т.А. Оценка влияния состава микрочастиц атмосферного воздуха на окислительно-восстановительный гомеостаз альвеолярных макрофагов // Гигиена и санитария. 2022. Т.101, №9. С.1004–1010. EDN: ADUQKY. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1004-1010>
9. Веремчук Л.В., Виткина Т.И., Минеева Е.Е., Барскова Л.С., Гвозденко Т.А. Метеореакции у лиц с заболеваниями органов дыхания, проживающих в условиях морского климата Владивостока // Гигиена и санитария. 2022. Т.101, №12: С.1438–1442. EDN: BFQBQI. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1438-1442>
10. Golokhvast K., Vitkina T., Gvozdenko T., Kolosov V., Yankova V., Kondratieva E., Gorkavaya A., Nazarenko A., Chaika V., Romanova T., Karabtsov A., Perelman J., Kiku P., Tsatsakis A. Impact of Atmospheric Microparticles on the Development of Oxidative Stress in Healthy City/Industrial Seaport Residents // Oxid. Med. Cell. Longev. 2015. Vol.2015. Article number: 412173. <https://doi.org/10.1155/2015/412173>
11. Vitkina T.I., Yankova V.I., Gvozdenko T.A., Nazarenko A.V., Golokhvast K.S., Kuznetsov V.L., Krasnikov D.V., Chaika V.V., Smagin S.V., Tsatsakis A.M., Engin A.B., Karakitsios S.P., Sarigiannis D.A. The impact of multi-walled carbon nanotubes with different amount of metallic impurities on immunometabolic parameters in healthy volunteers // Food Chem. Toxicol. 2016. Vol.87. P.138–147. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.11.023>

12. Виткина Т.И., Сидлецкая К.А. Диагностические критерии прогрессирования хронической обструктивной болезни лёгких в условиях повышенной техногенной нагрузки // Гигиена и санитария. 2020. Т.99, №2. С.140–144. EDN: GQUKYP. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-2-140-144>
13. 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>
14. Голохваст К.С., Христофорова Н.К., Кикун П.Ф., Гульков А.Н. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных в атмосферном воздухе частиц // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2011. Вып.40. С.94–100. EDN: NUXOLX.
15. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография / отв. ред. Н.К.Христофорова. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т. 2013. 178 с. ISBN: 978-5-7444-3244-7
16. Grzywa-Celińska A, Krusiński A, Milanowski J. 'Smogging kills' - Effects of air pollution on human respiratory system // Ann. Agric. Environ. Med. 2020. Vol.27, Iss.1. P.1–5. <https://doi.org/10.26444/aaem/110477>. PMID: 32208572.
17. Jacquet A. Characterization of Innate Immune Responses to House Dust Mite Allergens: Pitfalls and Limitations // Front. Allergy. 2021. Vol.2. Article number: 662378. <https://doi.org/10.3389/falgy.2021.662378>. PMID: 35386970.
18. Shaw O.M., Sawyer G.M., Hurst R.D., Dinnan H., Martell S. Different immune and functional effects of urban dust and diesel particulate matter inhalation in a mouse model of acute air pollution exposure // Immunol. Cell Biol. 2021. Vol.99, Iss.4. P.419–427. <https://doi.org/10.1111/imcb.12425>. PMID: 33169881.
19. 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 Pac. J. Trop. Biomed. 2016. Vol.6, Iss.1. P.76–79. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.001>
20. 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, Iss.4. Article number: e0402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>
21. Dunn R.M., Busse P.J., Wechsler M.E. Asthma in the elderly and late-onset adult asthma // Allergy. 2018. Vol.73, Iss.2. P.284–294. <https://doi.org/10.1111/all.13258>. PMID: 28722758.
22. Nanda A., Baptist A.P., Divekar R., Parikh N., Seggev J.S., Yusin J.S., Nyenhuis S.M. Asthma in the older adult // J. Asthma. 2020. Vol.57, Iss.3. P.241–252. <https://doi.org/10.1080/02770903.2019.1565828>. PMID: 30656998.
23. Sun H., Sun C., Xiao W., Sun R. Tissue-resident lymphocytes: from adaptive to innate immunity // Cell. Mol. Immunol. 2019. Vol.16, Iss.3. P.205–215. <https://doi.org/10.1038/s41423-018-0192-y>. PMID: 30635650.

## REFERENCES

1. Pisareva L.F., Ananina O.A., Odintsova I.N., Zhujkova L.D. [Urban pollution and population health: a review of literature]. *Profilakticheskaya meditsina = The Russian Journal of Preventive Medicine* 2016; 19(4):60–64 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/profmed201619460-64>
2. Burnett R., Chen H., Szyszkowicz M., Fann N., Hubbell B., Pope C.A. 3rd, Apte J.S., Brauer M., Cohen A., Weichenthal S., Coggins J., Di Q., Brunekreef B., Frostad J., Lim S.S., Kan H., Walker K.D., Thurston G.D., Hayes R.B., Lim C.C., Turner M.C., Jerrett M., Krewski D., Gapstur S.M., Diver W.R., Ostro B., Goldberg D., Crouse D.L., Martin R.V., Peters P., Pinault L., Tjepkema M., van Donkelaar A., Villeneuve P.J., Miller A.B., Yin P., Zhou M., Wang L., Janssen N.A.H., Marra M., Atkinson R.W., Tsang H., Quoc Thach T., Cannon J.B., Allen R.T., Hart J.E., Laden F., Cesaroni G., Forastiere F., Weinmayr G., Jaensch A., Nagel G., Concin H., Spadaro J.V. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 2018; 115(38):9592–9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>. PMID: 30181279; PMCID: PMC6156628.
3. Harrison R.M., Yin J. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Sci. Total Environ.* 2000; 249(1-3):85–101. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00513-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00513-6). PMID: 10813449.
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(3):e0304. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2019.0304>
5. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Kondratyeva E.V., Veremchuk L.V. Mechanism of Response of Alveolar Macrophages in Wistar Rats to the Composition of Atmospheric Suspensions. *Atmosphere* 2022; 13(9):1500. <https://doi.org/10.3390/atmos13091500>
6. Kajtmazova N.K. [Dynamics of immunity indicators in children with obstructive bronchitis]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny = Modern Issues of Biomedicine* 2022; 6(1) (in Russian). [https://doi.org/10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_01\\_2](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_01_2)
7. Potapnev M.P. [How immune system works. Part I. Mechanisms of innate immunity]. *Zdravookhranenie = Healthcare (Minsk)* 2020; (4):37–52 (in Russian).
8. Barskova L.S., Vitkina T.I., Veremchuk L.V., Gvozdenko T.A. [Assessment of the influence of the composition of atmospheric microparticles on redox homeostasis of alveolar macrophages]. *Gigiena i Sanitaria = Hygiene and Sanitation*

2022. 101(9):1004–1010 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1004-1010>

9. Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Barskova L.S., Gvozdenko T.A. [Weather reactions in persons with respiratory diseases who lives in conditions of the marine climate of Vladivostok]. *Gigiena i Sanitaria = Hygiene and Sanitation* 2022; 101(12):1438–1442 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1438-1442>

10. Golokhvast K., Vitkina T., Gvozdenko T., Kolosov V., Yankova V., Kondratieva E., Gorkavaya A., Nazarenko A., Chaika V., Romanova T., Karabtsov A., Perelman J., Kiku P., Tsatsakis A. Impact of Atmospheric Microparticles on the Development of Oxidative Stress in Healthy City/Industrial Seaport Residents. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2015; 2015:412173. <https://doi.org/10.1155/2015/412173>

11. Vitkina T.I., Yankova V.I., Gvozdenko T.A., Nazarenko A.V., Golokhvast K.S., Kuznetsov V.L., Krasnikov D.V., Chaika V.V., Smagin S.V., Tsatsakis A.M., Engin A.B., Karakitsios S.P., Sarigiannis D.A. The impact of multi-walled carbon nanotubes with different amount of metallic impurities on immunometabolic parameters in healthy volunteers. *Food Chem. Toxicol.* 2016; 87:138–147. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.11.023>

12. Vitkina T.I., Sidletskaia K.A. [Diagnostic criteria for the progression of the chronic obstructive pulmonary disease under a high technogenic load]. *Gigiena i Sanitaria = Hygiene and Sanitation* 2020; 99(2):140–144 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-2-140-144>

13. 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>

14. Golokhvast K.S., Khristoforova N.K., Kiku P.F., Gul'kov A.N. Granulometric and mineralogic analysis of suspended particles in the air. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2011; (40):94–100 (in Russian).

15. Golokhvast K.S. [Urban atmospheric suspensions of the Russian Far East: monograph]. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2013 (in Russian). ISBN: 978-5-7444-3244-7

16. Grzywa-Celińska A., Krusiński A., Milanowski J. 'Smogging kills' - Effects of air pollution on human respiratory system. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2020; 27(1):1–5. <https://doi.org/10.26444/aaem/110477>. PMID: 32208572.

17. Jacquet A. Characterization of Innate Immune Responses to House Dust Mite Allergens: Pitfalls and Limitations. *Front. Allergy* 2021; 2:662378. <https://doi.org/10.3389/falgy.2021.662378>. PMID: 35386970.

18. Shaw O.M., Sawyer G.M., Hurst R.D., Dinnan H., Martell S. Different immune and functional effects of urban dust and diesel particulate matter inhalation in a mouse model of acute air pollution exposure. *Immunol. Cell Biol.* 2021; 99(4):419–427. <https://doi.org/10.1111/imcb.12425>. PMID: 33169881.

19. 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 Pac. J. Trop. Biomed.* 2016; 6(1):76–79. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.001>

20. 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>

21. Dunn R.M., Busse P.J., Wechsler M.E. Asthma in the elderly and late-onset adult asthma. *Allergy* 2018; 73(2):284–294. <https://doi.org/10.1111/all.13258>. PMID: 28722758.

22. Nanda A., Baptist A.P., Divekar R., Parikh N., Seggev J.S., Yusin J.S., Nyenhuis S.M. Asthma in the older adult. *J. Asthma* 2020; 57(3):241–252. <https://doi.org/10.1080/02770903.2019.1565828>. PMID: 30656998.

23. Sun H., Sun C., Xiao W., Sun R. Tissue-resident lymphocytes: from adaptive to innate immunity. *Cell. Mol. Immunol.* 2019; 16(3):205–215. <https://doi.org/10.1038/s41423-018-0192-y>. PMID: 30635650.

---

#### 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

**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; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6372-6560>

#### 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

**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; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6372-6560>

**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>

*Поступила 17.02.2023  
Принята к печати 02.03.2023*

*Received February 17, 2023  
Accepted March 02, 2023*