

УДК 616.24-008.811.6-036.12:614.715]616-092.6

DOI: 10.36604/1998-5029- 2021-82-45-52

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТВЕТНОЙ РЕАКЦИИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МИКРОТОКСИКАНТОВ ВОЗДУХА ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНИ ЛЁГКИХ

Т.И.Виткина, Л.В.Веремчук, Т.А.Гвозденко, Е.Е.Минеева

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. В условиях возрастающего действия факторов среды антропогенного генеза на здоровье человека особое значение приобретает изучение состояния органов дыхания. **Цель.** Оценка ответной реакции функциональных показателей органов дыхания на воздействие микровзвесей и токсичных металлов у больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) с применением регрессионных моделей. **Материалы и методы.** Обследовано 60 пациентов с ХОБЛ легкой и средней степени тяжести стабильного течения и 30 человек без бронхолегочной патологии, составивших контрольную группу. Исследование функции внешнего дыхания проводилось методами спирометрии и бодиплетизмографии. Измерялось насыщение артериальной крови кислородом (SaO_2) методом пульсоксиметрии; концентрация СО в выдыхаемом воздухе и содержание карбоксигемоглобина (% СОНб) в крови определены при помощи портативного анализатора MicroCO Meter. Загрязнение атмосферы города оценивали по аэрозольным взвешиваниям твердых частиц в районах проживания обследуемых пациентов. Фракции микровзвесей оценивали (в %) по диапазонам (0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, >700 мкм), токсичные металлы (Pb, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) определяли по содержанию в мкг/л в пробе. Расчетным инструментом определения ответной реакции функциональных показателей органов дыхания явился статистический модуль «Множественная регрессия». **Результаты.** Анализ однофакторных и многофакторных регрессионных моделей позволил выделить как триггерные факторы пылевого и техногенного загрязнения воздуха, так и синергический эффект влияния доминантных факторов. Мультифакторные реакции техногенного воздействия активно отражаются на насыщении крови кислородом и содержании карбоксигемоглобина, способствуя развитию дыхательной недостаточности. **Заключение.** У больных ХОБЛ отмечено увеличение бронхиального сопротивления на воздействии триггерного фактора (Pb – 1 класс вредности), связанного с высокой автомобилизацией города. Ответная реакция показателя легочного газообмена (SaO_2) на действие Pb в контрольной группе говорит о возможности развития дыхательной недостаточности при длительном воздействии токсичных металлов даже у здорового населения города.

Ключевые слова: твердые взвешенные частицы воздуха, токсичные металлы в атмосфере, функция внешнего дыхания, хроническая обструктивная болезнь легких.

REGRESSION ANALYSIS TO ESTIMATE THE RESPONSE OF THE RESPIRATORY ORGANS TO EXPOSURE OF AIR MICROTOXICANTS IN CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE

T.I.Vitkina, L.V.Veremchuk, T.A.Gvozdenko, E.E.Mineeva

Контактная информация

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, 690105, Россия, г. Владивосток, ул. Русская, 73г. E-mail: tash30@mail.ru

Correspondence should be addressed to

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, 73g Russkaya Str., Vladivostok, 690105, Russian Federation. E-mail: tash30@mail.ru

Для цитирования:

Виткина Т.И., Веремчук Л.В., Гвозденко Т.А., Минеева Е.Е. Регрессионный анализ для оценки ответной реакции органов дыхания на воздействие микротоксиантов воздуха при хронической обструктивной болезни лёгких // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2021. Вып.82. С.45–52. DOI: 10.36604/1998-5029- 2021-82-45-52

For citation:

Vitkina T.I., Veremchuk L.V., Gvozdenko T.A., Mineeva E.E. Regression analysis to estimate the response of the respiratory organs to exposure of air microtoxins in chronic obstructive pulmonary disease. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2021; (82):45–52 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029- 2021-82-45-52

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 assessment of the respiratory system is of particular importance in the context of increasing impact of anthropogenic factors on human health. **Aim.** Evaluation of the response of the lung function indices to the effects of micro-suspensions and toxic metals in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), using regression models. **Materials and methods.** The study involved 60 patients with stable mild-to-moderate COPD and 30 healthy people (the control group). The analysis of lung function was carried out by spirometry and body plethysmography. Arterial oxygen saturation (SaO_2) was measured by pulse oximetry. Exhaled CO_2 concentration and blood carboxyhemoglobin (COHb%) concentration were assessed using a portable analyzer MicroCO Meter. The pollution of the city atmosphere was assessed by aerosol suspensions of solid particles in the areas of residence of the examined patients. Fractional composition of suspended particles (0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, > 700 μm ; %) were analyzed in the areas of residence of the examined patients. Toxic metal (Pb, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn; $\mu\text{g/L}$) levels in the air samples were determined. The statistical module "Multiple regression" was used for assessing the response of functional parameters of the respiratory system. **Results.** The analysis of one-factor and multi-factor regression models made it possible to identify both trigger factors of dust and technogenic air pollution and the synergistic effect of the influence of dominant factors. It has been shown that multifactorial reactions to technogenic impact manifest as altered blood oxygen saturation and carboxyhemoglobin level and thereby contribute to the development of respiratory failure. **Conclusion.** Patients with COPD exhibited increased bronchial resistance to the effect of the trigger factor (Pb – 1 hazard class) associated with high motorization of the city. The response of pulmonary gas exchange (SaO_2) to Pb in the control group indicates prolonged exposure to toxic metals can cause developing respiratory failure even in the healthy population of the city.

Key words: solid suspended air particles, toxic metals in the atmosphere, lung function, chronic obstructive pulmonary disease.

Глобальные процессы роста городов формируют условия возрастающего воздействия техногенного загрязнения воздушной среды на здоровье человека, в которых особое значение приобретает влияние микровзвесей атмосферного воздуха на органы дыхания [1–4]. Так как верхние отделы респираторного тракта относятся к первичным защитным барьерам организма, активно реагирующим на микротоксиканты и токсичные металлы, заболевания верхних дыхательных путей имеют высокую распространенность среди населения городов [5, 6]. Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) относится к группе экологически зависимых болезней органов дыхания. Несмотря на то, что курение признается главным фактором риска развития ХОБЛ, длительное проживание в районах высокого техногенного загрязнения атмосферы может также способствовать развитию бронхиальной обструкции [5, 7]. Особенно патогенна субмикроскопическая пыль, долго находящаяся в воздухе во взвешенном состоянии, легко проникающая и задерживающаяся в легких [4, 8, 9]. Поэтому изучение экологической зависимости в формировании нарушений вентиляционной способности органов дыхания связано с оценкой качества функционирования и дифференциации газообмена в легких, вызывающих выраженную бронхообструкцию под влиянием пылевого загрязнения городского воздуха [4, 5, 10, 11]. Важное направление в исследовании занимает определение ответной реакции функциональных показателей органов дыхания на доминантное действие отдельных микровзвесей и токсичных металлов воздушной среды, способных вызвать эффект синергизма в развитии патологических процессов при ХОБЛ [12].

Целью исследования явилась оценка ответной реакции функциональных показателей органов дыхания на воздействие микровзвесей и токсичных металлов у больных ХОБЛ с применением регрессионных моделей.

Материалы и методы исследования

Загрязнение атмосферы города оценивали по аэрозольным взвесям твердых частиц, собранных в виде атмосферных осадков (снег) в точках отбора проб, расположенных в крупных жилых районах, где располагаются объекты загрязнения (автомобильные трассы с высоким трафиком, энергетические и промышленные объекты, расположенные в 200-800 м по преобладающей розе ветров). В качестве источника информации по загрязнению в расчетах использовались данные центра нанотехнологий Инженерной школы ДВФУ, представленные в открытом доступе [13]. 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 твердых взвешенных частиц в пробе, а содержание абсорбированных токсичных металлов в воздухе (Pb, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) измерялось в мкг/л [2, 14]. Данные сопоставлялись с показаниями мониторинга гидрометслужбы города по загрязнению взвешенными частицами городской атмосферы на стационарных точках города [15].

За пятилетний период обследована функция внешнего дыхания (ФВД) у 60 больных ХОБЛ стабильного течения. Средний возраст пациентов составил $56,5 \pm 4,8$ года. Диагноз ХОБЛ выставлен в соответствии с Глобальной инициативой по хронической обструктивной

болезни легких (GOLD-2019). Исследование осуществлялось в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации (пересмотр 2013 г.) с одобрения локального Этического комитета на условиях добровольного информированного согласия. Критерии включения: пациенты с ХОБЛ легкой и средней степени тяжести стабильного течения, курящие или бывшие курильщики, индекс курильщика не менее 10 пачка/лет, проживающие в г. Владивостоке более 5 лет. Критериями исключения были: тяжелая и крайне тяжелая степень тяжести ХОБЛ, обострение ХОБЛ, наличие бронхиальной астмы, тяжелые декомпенсированные заболевания внутренних органов. Все больные ХОБЛ получали базисную терапию длительно действующими м-холинолитиками. Контрольную группу составили 30 добровольцев, не курящих, без бронхолегочной патологии, средний возраст которых составил $51,3 \pm 3,7$ года.

Состояние ФВД оценивалось на аппарате Master Screen Body (Care Fusion, Германия). Для определения степени тяжести ХОБЛ исследовали постбронходилатационные параметры: форсированная жизненная емкость легких, объем форсированного выдоха за первую секунду и их расчетное соотношение. С помощью бодиплетизмографии определяли бронхиальное сопротивление на вдохе (R_{in}), выдохе (R_{ex}), и общее сопротивление (R_{tot}), а также статические легочные объемы и емкости. С помощью пульсоксиметра Mindray PM-60 (Китай) измерялось насыщение артериальной крови кислородом (SaO_2). Концентрация CO_2 в выдыхаемом воздухе и содержание карбоксигемоглобина (%COHb) в крови измеряли при помощи портативного электрохимического анализатора MicroCO Meter (Великобритания).

Для анализа использовали модуль программы STATISTICA 8 «Множественная регрессия» (зависимая переменная «Y» (показатели ФВД) связывалась с совокупностью независимых переменных «X» (факторы среды)). Первоначально использовали однофакторную регрессию, с учетом, что один независимый фактор среды (X) влияет на результирующую переменную зависимых показателей ФВД (переменные Y). С целью определения адекватности уравнения линейной регрессии проводилось тестирование упрощенных подмоделей, использующих показатели – множественной регрессии R и статистической значимости результата (p). Выделение доминантных факторов проводили при использовании регрессионных связей, имеющих небольшие значения ($R_{перг} > 0,25$), но с высокой статистической значимостью результата ($p < 0,05$) и низкими значениями стандартной ошибки оценки (SEE). В результате были выделены доминантные и триггерные факторы внешнего воздействия на ФВД. В тех случаях, когда один показатель ФВД откликался на несколько доминантных факторов внешней среды, создавалась «общая модель», использующая «пошаговый» («step-wise») подход расчета множественной регрессии. Из

«общей модели» переменные удалялись по одному из совокупности независимых переменных до тех пор, пока изменения не становились статистически значимыми, то есть регрессией «наилучшего подмножества». Для тестирования полученных «лучших моделей» использовали показатели множественной регрессии R, F-статистика, коэффициент детерминации R^2 , стандартная ошибка оценки регрессии (SEE) и статистическая значимость результата (p). На основании лучших регрессионных моделей были получены уравнения множественной регрессии, которые позволили оценить синергизм факторов загрязнения на ФВД больных ХОБЛ и пациентов контрольной группы. В случае получения достоверной однофакторной регрессионной модели, доминантные факторы воздействия принимались за триггерные.

Результаты исследования

Стратегией отбора однофакторных регрессионных моделей явилось их тестирование, которое включало регрессии с $R_{перг} > 0,25$, имеющих повышенные значения F-статистики, $p < 0,05$ и малую величину SEE ($< 2,0$). В результате тестирования были выделены 10 ответных реакций 5 функциональных показателей органов дыхания (Y) на действие 7 факторов (X) загрязнения воздуха (табл. 1).

Полученные мультиответные реакции для показателей SaO_2 , %COHb и R_{in} были использованы для определения «наилучшего подмножества» в общей многофакторной множественной регрессии. Были выделены 3 регрессионные модели «наилучшего подмножества» ответной реакции, которые имели приемлемые для данного исследования тестовые показатели – множественная регрессия R, F-статистика, стандартная ошибка регрессии (SEE) и статистическая значимость результата (p) (табл. 2).

Для сравнения аналогичная процедура расчетов была проведена в контрольной группе. Была зафиксирована статистически значимая ответная реакция SaO_2 и %COHb почти на все токсичные металлы – Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Pb, однако ошибка оценки однофакторных регрессий для здорового населения оказалась достаточно высокой ($SEE > 15,0$), поэтому полученные результаты были отклонены. Только влияние Pb на показатель SaO_2 имело репрезентативное значение ($R_{перг} = 0,47$; $F = 6,25$; $p = 0,02$; $SEE = 0,26$).

Обсуждение результатов исследования

Город Владивосток, административный центр Приморского края – один из самых автомобильных городов в России (свыше 500 машин на 1000 жителей). Количество автомобилей, передвигающихся по магистралям города, гораздо больше, чем позволяет их пропускная способность. В черте городе находится несколько энергетических объектов, мусоросжигательный завод и другие загрязняющие атмосферу предприятия, имеющие слабую систему очистки вы-

бросов и располагающиеся в селитебных районах города. Несмотря на то, что город находится у моря, в связи со сложностью гористого рельефа, формирующего аэродинамические особенности циркуляции атмосферы и высокой влажностью, в городе создаются непростые микроклиматические условия, которые не

справляются с процессом естественного самоочищения атмосферы. Поэтому во Владивостоке складывается порой сложная экологическая ситуация по загрязнению атмосферы техногенными выбросами, в особенности транспортными.

Таблица 1

Однофакторные регрессионные связи доминантных факторов воздействия пылевых фракций и токсичных металлов на функциональные показатели органов дыхания больных ХОБЛ, проживающих в г. Владивостоке

Показатели ФВД (Y)	Факторы загрязнения атмосферы (X)						
	0-1 мкм	100-400 мкм	400-700 мкм	Cu мкг/л	Ni мкг/л	Mn мкг/л	Pb мкг/л
SaO ₂	R=0,28 p=0,04 SEE=6,33	R=0,29 p=0,03 SEE=12,92		R=0,30 p=0,02 SEE=3,67			
%COHb	R=0,27 p=0,05 SEE=6,39		R=0,33 p=0,01 SEE=32,88		R=0,37 p=0,03 SEE=0,37		
R _{in}						R=0,31 p=0,02 SEE=0,17	R=0,39 p=0,007 SEE=0,18
R _{ex}							R=0,37 p=0,01 SEE=0,59
R _{tot}							R=0,34 p=0,02 SEE=0,23

Таблица 2

Регрессионная модель «наилучшего подмножества» ответной реакции функциональных показателей органов дыхания у больных ХОБЛ на воздействие пылевых фракций и токсичных металлов в воздухе г. Владивостока

Факторы среды (X)	Показатель пульсоксиметрии (SaO ₂)			
100-400; Cu	Multiple R=0,42	F=5,62	p=0,006	SEE=1,81
	Карбоксигемоглобин (%COHb)			
0-1; 400-700	Multiple R=0,52	F=6,21	p=0,005	SEE=1,01
	Показатель бодиплетизмографии (R _{in})			
Mn; Pb	Multiple R=0,41	F=4,49	p=0,02	SEE=0,18

Анализ показал, что в условиях повышенного загрязнения воздуха пылевыми аэрозолями и токсичными металлами у пациентов с ХОБЛ формируются особенности ответной реакции органов дыхания [2, 3, 16]. После тестирования однофакторных регрессий, у больных ХОБЛ зарегистрирована реакция SaO₂ (насыщение артериальной крови кислородом), %COHb (содержание карбоксигемоглобина) и показателей, характеризующих бронхиальное сопротивление на вдохе (R_{in}), выдохе (R_{ex}) и общее бронхиальное сопротивление (R_{tot}) (табл. 1). Доминантными факторами

внешнего воздействия явились микровзвеси в диапазонах 0-1, 100-400, 400-700 и токсичные металлы (Cu, Ni, Mn, Pb) (табл. 1). В результате, пылевые взвеси и токсичные металлы наиболее активно повлияли на легочный газообмен: показатели SaO₂ и %COHb. Причем снижение SaO₂ и увеличение %COHb характерно для пациентов с дыхательной недостаточностью при ХОБЛ [5, 7]. Показатели бронхиального сопротивления R, характеризующие бронхиальную обструкцию при ХОБЛ, отреагировали только на действие токсичных металлов (Mn, Pb) [11]. Количественный анализ реакций функ-

циональных показателей органов дыхания на доминантное влияние загрязнения воздуха показал повышенную активность на содержание токсичных металлов в атмосфере ($R_{\text{регр}}=0,3-0,39$ при $SEE=0,17-3,67$) (табл. 1). На пылевые фракции доминантные реакции несколько снижены ($R_{\text{регр}}=0,27-0,33$ при $SEE=6,33-32,88$), что не позволяет сделать предположение о преимущественном действии каждого фактора в отдельности (табл. 1). В свою очередь, показатели бронхиального сопротивления ($R_{\text{ex}}, R_{\text{tot}}$) отреагировали только на воздействие Pb ($R_{\text{регр}}=0,34-0,37$; $SEE=0,23-0,59$ при $p=0,01-0,02$), в связи с чем Pb можно признать триггерным фактором неблагоприятного воздействия на ФВД при ХОБЛ (табл. 1). Основным источником повышенного содержания свинца в атмосфере Владивостока является высокий уровень автомобилизации города, использующего транспортные средства, достигшие предельного срока эксплуатации и работающие, как правило, на этилированном бензине [17]. Согласно данным литературы [18, 19] вдыхание транспортных выбросов, которые помимо Pb содержат соли других тяжелых металлов, способствует формированию нарушений функции легких и риску развития тяжелых форм заболеваний легких.

Формирование множественной модели регрессионной связи с дальнейшим поиском «наилучшего подмножества» позволил выявить синергизм в реакции показателей (SaO_2 ; %COHb; R_{in}) на действие 6 факторов загрязнения (0-1; 100-400; 400-700; Cu; Mn; Pb) (табл. 2). Так, показатель %COHb активно (Multiple $R=0,52$) отреагировал на ультрамелкодисперсные (0-1 мкм) и крупнодисперсные фракции (400-700 мкм), которые в совокупности проникая в органы дыхания вызвали наибольшее патогенное действие, что способствует развитию дыхательной недостаточности при ХОБЛ (табл. 2). Полученные нами результаты подтверждают выводы В. Kamarehie et al. [4] и L. Paulin, N. Hansel [5] о высокой патогенности ультра и мелкодисперсных фракций твердых взвешенных частиц, глубоко проникающих в дыхательные пути, особенно у больных ХОБЛ. Действие среднедисперсных фракций (в диапазоне 100-400 мкм), с абсорбирующимися на них токсичными металлами (Cu), имели патогенный эффект совокупного влияния на процесс насыщения артериальной крови кислородом (SaO_2) (Multiple $R=0,42$ при $p=0,006$). Показатель R_{in} (бронхиальное сопротивление на вдохе) показал репрезентативный синергизм действия на ФВД двух токсичных металлов (Mn, Pb) (Multiple $R=0,41$; $F=4,49$; $p=0,02$; $SEE=0,18$), которые увеличивают бронхиальное сопротивление, тем самым снижают вентиляционную способность легких (табл. 2). Повышенное содержание Mn, Pb в городском воздухе связано с выбросами негазифицированных энергетических станций, сжиганием угля в котельных,

работой мусоросжигательного завода и наличием большого количества транспорта, использующего недорогое топливо при высоком износе автомобильных шин и деталей [15, 20]. В контрольной группе после тестирования однофакторных регрессий выделен Pb (1 класс вредности), как триггерный фактор, который подействовал на насыщение артериальной крови кислородом (SaO_2) здоровых лиц ($R_{\text{регр}}=0,47$; $SEE=0,26$; $p=0,02$). Данная зависимость, объясняемая высоким уровнем загрязнения воздуха выхлопными выбросами автотранспорта, указывает на серьезную гигиеническую проблему г. Владивостока, которая снижает уровень здоровья и качество жизни даже здорового населения города.

Таким образом, применяемая стратегия анализа позволила установить особенности реакции функциональных показателей органов дыхания на воздействие воздушных микровзвесей и токсичных металлов у пациентов с ХОБЛ и здорового населения, проживающих в условиях повышенного загрязнения воздуха микротоксикантами. Ответная реакция, рассчитанная с помощью регрессионных моделей, оценивалась поэтапно с первоначальным выделением доминантных факторов воздействия, а затем выделялись множественные регрессионные модели связи, характеризующие мультифакторный синергизм влияния. Установлено, что синергические реакции техногенного воздействия активно отражаются на насыщении крови кислородом и содержании карбоксигемоглобина, снижение которого в первом случае, и увеличение – во втором, вызывают дополнительные нагрузки на органы дыхания, приводя к гипоксемии и развитию дыхательной недостаточности при ХОБЛ. У больных ХОБЛ отмечено увеличение бронхиального сопротивления на воздействие триггерного фактора (Pb – 1 класс вредности), содержание которого в городском воздухе напрямую связано с высоким уровнем загрязнения транспортными выбросами. Ответная реакция функциональных показателей органов дыхания в контрольной группе выявлена только со стороны показателя SaO_2 на воздействие Pb с репрезентативными статистическими показателями регрессии, что говорит о возможности развития дыхательной недостаточности под влиянием токсичных металлов даже у здорового населения города.

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. Архипов В.А., Шереметьева У.М. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность. Томск: Изд-во ТомГПУ, 2007. 136 с.
2. Веремчук Л.В., Янькова В.И., Виткина Т.И., Барскова Л.С., Голохваст К.С. Формирование загрязнения атмосферного воздуха города Владивостока и его влияние на распространение болезней органов дыхания // Сибирский научный медицинский журнал. 2015. Т.35 №4. С.55–61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24038836>
3. Веремчук Л.В., Янькова В.И., Виткина Т.И., Голохваст К.С., Барскова Л.С. Загрязнение атмосферы урбанизированной территории как системный процесс взаимодействия факторов окружающей среды // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. №3(61). С.35–42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23754629>
4. Kamarehie B., Ghaderpoori M., Jafari A., Karami M., Mohammadi A., Azarshab K., Ghaderpoury A., Noorizadeh N. Estimation of health effects (morbidity and mortality) attributed to PM10 and PM2.5 exposure using an Air Quality model in Bukan city, from 2015-2016 exposure using air quality model // Environ. Health Eng. Manag. J. 2017. Vol.4, Iss.3. P.137–142. <https://doi.org/10.15171/EHEM.2017.19>
5. Paulin L., Hansel N. Particulate air pollution and impaired lung function // F1000Research. 2016. Vol.5. Article number: 201. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7108.1>
6. 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 // Rus. Open Med. J. 2017. Vol.6, Iss.4. Article number: e0402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>
7. Kim K.-H., Kabir E., Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter // Environ. Int. 2015. Vol.74. P.136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>
8. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среду продуктами эксплуатационного износа автомобильно-дорожного комплекса // Гигиена и санитария. 2014. Т.93, №6. С.17–21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22804033>.
9. Veremchuk L.V., Tsarouhas K., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Gvozdenko T.A., Antonyuk M.V., Rakitskii V.N., Sildetskaya K.A., Tsatsakis A., Golokhvast K.S. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory // Environ. Pollut. 2018. Vol.235. P.489–496. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.122>
10. Симонова И.Н., Антонюк М.В. Роль техногенного загрязнения окружающей среды в развитии бронхолегочной патологии // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. №1(59). С.14–20. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22614727>
11. Fang X, Fang B, Wang C, Xia T, Bottai M, Fang F. Relationship between fine particulate matter, weather condition and daily non-accidental mortality in Shanghai, China: A Bayesian approach // PLoS One. 2017. Vol.12, Iss.11. Article number: e0187933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187933>
12. Sah D., Verma P.K., Kandikonda M.K., Lakhani A. Pollution characteristics, human health risk through multiple exposure pathways, and source apportionment of heavy metals in PM10 at Indo-Gangetic site // Urban Climate. 2019.Vol.27. P.149–162. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.010>
13. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. Владивосток: ДВФУ, 2013. 178 с. ISBN 978-5-7444-3244-7
14. 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. №2(56). С.62–66. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21759857>
15. ФГБУ «Приморское УГМС» URL: <https://primogoda.ru/news/ecology>; <https://primogoda.ru/weather/vladivostok/today>
16. 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 ID 412173. <https://doi.org/10.1155/2015/412173>
17. Третьяк Л.Н., Вольнов А.С., Косых Д.А. Состав и концентрации твердых частиц в отработавших газах как критерии технического состояния двигателей внутреннего сгорания // Фундаментальные исследования. 2015. №2-21. С.4625–4634. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38041>
18. Голохваст К.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы) // Экология человека. 2016. №1. С.9–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-1-9-14>
19. Qiao M., Cai C., Huang Y., Liu Y., Lin A., Zheng Y. Characterization of soil heavy metal contamination and potential health risk in metropolitan region of northern China // Environ. Monit. Assess. 2011. Vol.172, Iss.1-4. P.353–365. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1339-1>
20. Коровина Е.В., Иванова Л.А., Лебедева Ю.А., Фролова О.В. Основные закономерности аккумуляции и трансформации тяжёлых металлов в почвогрунте придорожных зон // Фундаментальные исследования. 2011. №12-1. С.124–128. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=28862>

REFERENCES

1. Arkhipov V.A., Sheremet'eva U.M. Aerosol systems and their impact on vital activity. Tomsk: Tomsk State Pedagogical University; 2007 (in Russian).
2. Veremchuk L.V., Yan'kova V.I., Vitkina T.I., Barskova L.S., Golokhvast K.S. The development of atmospheric air pollution in city and its impact on respiratory morbidity. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal* 2015; 35(4):55–61 (in Russian). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24038836>
3. Veremchuk L.V., Yan'kova V.I., Vitkina T.I., Golokhvast K.S., Barskova L.S. The atmospheric pollution in urbanized territories as a system process of the interaction of environmental factors. *Zdorov'e. Meditsinskaya ekologiya. Nauka = Health. Medical Ecology. Science* 2015; (3):35–42 (in Russian). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23754629>
4. Kamarehie B., Ghaderpoori M., Jafari A., Karami M., Mohammadi A., Azarshab K., Ghaderpoury A., Noorizadeh N. Estimation of health effects (morbidity and mortality) attributed to PM10 and PM2.5 exposure using an Air Quality model in Bukan city, from 2015-2016 exposure using air quality model. *Environ. Health Eng. Manag. J.* 2017; 4(3):137–142. <https://doi.org/10.15171/EHEM.2017.19>
5. Paulin L., Hansel N. Particulate air pollution and impaired lung function. *F1000Research* 2016, 5(F1000 Faculty Rev):201. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7108.1>
6. 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. *Rus. Open Med. J.* 2017; 6(4):e0402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>
7. 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>
8. Levanchuk A.V. Environmental pollution by products of wear and tear automobile-road complex. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation* 2014; 93(6):17–21 (in Russian). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22804033>
9. Veremchuk L.V., Tsarouhas K., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Gvozdenko T.A., Antonyuk M.V., Antonyuk M.V., Rakitskii V. N., Sidletskaya K.A., Tsatsakis A., Golokhvast K.S.. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory. *Environ. Pollut.* 2018; 235:489–496. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.122>
10. Simonova I.N., Antonyuk M.V. Role of industrial air pollution in growth of bronchopulmonary pathology. *Zdorov'e. Meditsinskaya ekologiya. Nauka = Health. Medical Ecology. Science* 2015; (1):14–20 (in Russian). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22614727>
11. Fang X, Fang B, Wang C, Xia T, Bottai M, Fang F. Relationship between fine particulate matter, weather condition and daily non-accidental mortality in Shanghai, China: A Bayesian approach. *PLoS One* 2017; 12(11):e0187933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187933>
12. Sah D., Verma P.K., Kandikonda M.K., Lakhani A. Pollution characteristics, human health risk through multiple exposure pathways, and source apportionment of heavy metals in PM10 at Indo-Gangetic site. *Urban Climate* 2019; 27:149–162. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.010>
13. Golokhvast K. S. Atmospheric suspensions of the cities of the Far East. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2013 (in Russian). ISBN 978-5-7444-3244-7
14. 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. Meditsinskaya ekologiya. Nauka = Health. Medical Ecology. Science* 2014; (2):62–66 (in Russian). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21759857>
15. Primorsky Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available at: <https://primogoda.ru/news/ecology>; <https://primogoda.ru/weather/vladivostok/.today> (n Russian).
16. 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>
17. Tretyak L.N., Volnov A.S., Kosykh D.A. Composition and concentration of particulate matter in the exhaust gases as a criterion of technical state of internal combustion engines. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research* 2015; (2 Pt21):4625–4634 (in Russian). Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38041>
18. Golokhvast K.S., Chernyshev V.V., Ugay S.M. Car exhausts and human ecology (Literature review) // *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)* 2016; (1):9–14 (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-1-9-14>
19. Qiao M., Cai C., Huang Y., Liu Y., Lin A., Zheng Y. Characterization of soil heavy metal contamination and potential health risk in metropolitan region of northern China. *Environ. Monit. Assess.* 2011; 172(1–4):353–365. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1339-1>

20. Korovina E.V., Ivanova L.A., Lebedeva Y.A., Frolova O.V. The basic laws of accumulation and transformation of heavy metals in soils wayside area. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research* 2011; (12 Pt1):124–128 (in Russian). <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=28862>

Информация об авторах:

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; <http://orcid.org/0000-0002-1009-9011>; e-mail: tash30@mail.ru

Людмила Васильевна Веремчук, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория 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; <http://orcid.org/0000-0001-6372-6560>; e-mail: veremchuk_lv@mail.ru

Татьяна Александровна Гвозденко, д-р мед. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник лаборатории восстановительного лечения, директор Владивостокского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательского института медицинской климатологии и восстановительного лечения; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6413-9840>; e-mail: vfdnz@mail.ru

Елена Евгеньевна Минеева, канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории восстановительного лечения, врач функциональной диагностики, врач-пульмонолог, Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения; <https://orcid.org/0000-0002-4286-2827>; e-mail: elmineeva@yandex.ru

Author information:

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; <http://orcid.org/0000-0002-1009-9011>; e-mail: tash30@mail.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; <http://orcid.org/0000-0001-6372-6560>; e-mail: veremchuk_lv@mail.ru

Tatiana A. Gvozdenko, MD, PhD, DSc (Med.), Professor of RAS, Main Staff Scientist of Laboratory of Rehabilitative Treatment, Director of the Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6413-9840>; e-mail: vfdnz_nch@mail.ru

Elena E. Mineeva, MD, PhD (Med.), Staff Scientist of Laboratory of Rehabilitative Treatment, Functional Diagnostics Doctor, Pulmonologist, Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment; <https://orcid.org/0000-0002-4286-2827>; e-mail: elmineeva@yandex.ru

Поступила 27.07.2021
Принята к печати 28.08.2021

Received July 27, 2021
Accepted August 28, 2021
