

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108708>

Взаимосвязь биоэлементного статуса и изменения функционального состояния лёгких у пожарных МЧС России

М.А. Власенко, М.В. Санников, М.В. Яковлева, С.С. Алексанин

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для пожарных характерно постоянное взаимодействие с дымом и различными продуктами горения, которые, попадая в организм, способны влиять на состояние органов дыхания.

Цель. Изучить взаимосвязь биоэлементного статуса с изменениями функционального состояния лёгких у пожарных МЧС России.

Методы. Проанализированы данные 97 человек из территориальных пожарных частей г. Санкт-Петербурга, непосредственно участвующих в пожаротушении. Проведено комплексное медицинское обследование, включая оценку биоэлементного статуса в пробах волос методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты. Выявлено повышение концентрации токсичных микроэлементов у пожарных по сравнению с лицами, не участвующими в пожаротушении. На фоне этого повышения происходило снижение концентрации жизненно необходимых элементов. Выявлена взаимосвязь между концентрацией токсичных микроэлементов и состоянием бронхолёгочной системы у пожарных. Показана связь концентрации алюминия, серебра и кадмия со снижением диффузионной способности лёгких, бронхообструктивными изменениями и фиброзом лёгких. Отмечено статистически значимое увеличение содержания серебра у пожарных с бронхообструктивными изменениями по сравнению с лицами, имеющими нормальные показатели бронхиальной проводимости.

Заключение. Проведённое исследование показало взаимосвязь накопления серебра, алюминия и кадмия с развитием изменений в функциональном состоянии лёгких.

Ключевые слова: пожарные; патология дыхательной системы; токсичные микроэлементы; кадмий; серебро; алюминий.

Как цитировать:

Власенко М.А., Санников М.В., Яковлева М.В., Алексанин С.С. Взаимосвязь биоэлементного статуса и изменения функционального состояния лёгких у пожарных МЧС России // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 55–64. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108708>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108708>

Relationship of bioelemental status and changes in the functional state of the lungs in EMERCOM firefighters of Russia

Marija A. Vlasenko, Maksim V. Sannikov, Marija V. Yakovleva, Sergej S. Aleksanin

Nikiforov's All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine (the Nikiforov's NRCERM), Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Firefighters are characterized by constant interaction with smoke and various combustion products, which, entering the body can, affect the state of the respiratory system.

AIM: To study the relationship of the bioelemental status with alterations in the functional state of the lungs in firefighters of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

METHODS: The work analyzed the data of 97 people from the territorial fire departments of the city of Saint Petersburg, directly involved in firefighting. The firefighters underwent a comprehensive medical examination, including an assessment of the bioelemental status in hair samples by inductively coupled plasma mass spectrometry.

RESULTS: As a result of the study, an increase in the content of toxic trace elements in firefighters was revealed in comparison with persons who did not participate in extinguishing the fire. Against the background of an increase in toxic trace elements, there was a decrease in vital ones. The relationship between the concentration of toxic trace elements and the state of the bronchopulmonary system in firefighters was revealed. The interrelation of the concentration of aluminum, silver and cadmium with a decrease in the diffusion capacity of the lungs, broncho obstructive changes and pulmonary fibrosis is shown. A significant increase in the content of silver was found in firefighters with broncho-obstructive changes compared to those with normal bronchial conduction.

CONCLUSION: The study illustrated the relationship between the levels of silver, aluminum, and cadmium and development of functional changes in the lungs..

Keywords: firefighters; pathology of the respiratory system; toxic trace elements; cadmium; silver; aluminum.

To cite this article:

Vlasenko MA, Sannikov MV, Yakovleva MV, Aleksanin SS. Relationship of bioelemental status and changes in the functional state of the lungs in EMERCOM fire fighters of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(1):55–64. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108708>

Received: 13.06.2022

Accepted: 13.12.2022

Published online: 19.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

В современной литературе много внимания уделяется вопросам влияния факторов окружающей среды и труда на жизнь и здоровье человека, в том числе в различных профессиональных группах, таких как спасатели и пожарные. Профессия пожарного занимает одно из первых мест по степени опасности и вредного воздействия на системы организма, эта работа связана с ликвидациями последствий аварий и осуществляется в сложных условиях, представляющих угрозу для жизни и здоровья, что предполагает повышенную физическую, психологическую нагрузку, а также воздействие физических и химических факторов. Актуальным является изучение последствий воздействия факторов пожара на организм профессиональных пожарных.

Для пожарных наиболее характерно воздействие компонентов дыма, которые обладают разной биологической активностью, в том числе принадлежат к высоким классам токсичности и опасности. Вредные продукты горения в виде дыма могут попадать в организм с вдыхаемым воздухом, что, как правило, приводит к нарушению барьерных функций органов и систем [1, 2]. В проведённом ранее исследовании [3] описано воздействие токсичных факторов пожара на лёгочную ткань, приводящее к снижению функции лёгких, развитию гиперчувствительности лёгочной ткани и появлению различных симптомов респираторных заболеваний. Исследования по оценке состояния здоровья лиц, участвующих в пожаротушении [2–5], показали, что болезни органов дыхания занимают одно из главных мест в структуре общей заболеваемости пожарных, а стаж работы по специальности коррелировал с ухудшением функции дыхания и увеличением рисков респираторных заболеваний уже через 4 года.

Одним из компонентов продуктов горения, с которыми встречаются пожарные в процессе своей деятельности, являются соединения токсичных металлов, к их числу относятся мышьяк, кадмий, никель, свинец. В организме человека эти микроэлементы могут способствовать усилению окислительного стресса, нарушению барьерных механизмов, что приводит к воспалению и нарушению функции тканей лёгких [2, 5] и проявляется клинически в виде обструктивной болезни лёгких и фиброза. В единичных исследованиях установлена взаимосвязь между увеличением концентрации кадмия, свинца в различных биологических средах и прогрессирующим ухудшением функции лёгких [5]. Кроме того, повышение содержания токсичных микроэлементов приводит к снижению и дисбалансу жизненно необходимых элементов, что оказывает влияние на развитие патологического процесса в органах дыхания.

В ранее проведённом исследовании [4] у сотрудников федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы МЧС России (ФПС ГПС МЧС России) были установлены особенности биоэлементного

статуса по сравнению с лицами, не участвующими в пожаротушении, и выявлено лидирующее положение заболеваний органов дыхания в общей структуре заболеваемости сотрудников ФПС ГПС МЧС России. При этом данные по взаимосвязи особенностей биоэлементного статуса с заболеваниями органов дыхания у лиц, участвующих в пожаротушении, практически отсутствуют, что и обосновало необходимость нашего исследования.

Цель работы. Изучить взаимосвязь биоэлементного статуса с изменениями функционального состояния лёгких у сотрудников федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы МЧС России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 97 человек из территориальных пожарных частей г. Санкт-Петербурга, непосредственно участвующих в пожаротушении. Возраст обследованных пожарных составил от 18 до 45 лет (средний возраст — $31,4 \pm 0,7$ года). Стаж работы по специальности — от 0,5 лет до 27 лет (средний стаж — $10,5 \pm 0,6$ года). Обследованные пожарные были разделены на группы в зависимости от стажа работы: 1-я группа — 0–8 лет (средний стаж — $5,6 \pm 0,35$ года, средний возраст — $26,8 \pm 0,6$ года); 2-я группа — более 8 лет работы (средний стаж — $14,5 \pm 0,7$ года, средний возраст — $34,6 \pm 0,9$ года).

Для оценки влияния фактора курения группу пожарных также разделили на курящих ($n=58$) и некурящих ($n=39$).

Для оценки биоэлементного статуса сформирована группа сравнения ($n=34$). В неё вошли лица мужского пола, проживающие в Санкт-Петербурге, в возрасте от 19 до 30 лет, не участвующие в пожаротушении, не курящие и признанные практически здоровыми по результатам ежегодного медицинского осмотра.

На первом этапе проводили оценку состояния лёгких обследуемых и далее — элементный анализ волос.

Обследование выполнено на базе Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России в режиме дневного стационара. Диагнозы верифицированы специалистами клинических отделений по результатам типичных жалоб, комплексного обследования функции лёгких, а также рентгенологического и лабораторных исследований.

Для комплексного изучения функции лёгких методом бодиплетизмографии использовали бодиплетизмограф MasterScreen Body (ERICH JAEGER, Германия). Этот прибор с устройством для изучения диффузионной способности лёгких позволяет анализировать всю механику дыхания во время одного измерения. Программа включает в себя методику измерения дыхательного сопротивления методом общей плетизмографии, методику измерения внутригрудного объёма, методику спокойной и форсированной спирометрии. На основе этих методик оценивали общую ёмкость лёгких и её структуру, воздухонаполняемость

лёгких, бронхиальное сопротивление вдоха и выдоха, нарушение проходимости дыхательных путей. Границы нормы и градации отклонения от нормы показателей дыхания оценивали по общепринятым методикам. Использование блока для оценки диффузионной способности лёгких позволяло оценить диффузионную способность лёгких при задержке дыхания — DLCO SB (ммоль/мин/кПа), удельное значение при перерасчёте на единицу альвеолярного объёма — DLCO/VA (ммоль/мин/кПа/л), диффузионную способность лёгких во время задержки дыхания при коррекции по гемоглобину (DLCOc SB) и удельное значение при коррекции по гемоглобину (DLCOc/VA), объём альвеолярной вентиляции (L). Границами нормы считали показатели более 81% от должного. Снижение диффузионной способности оценивали по трём градациям: умеренное (81–61% от должного), значительное (60–51% от должного), резкое (менее 51% от должного).

Оценку биоэлементного статуса проводили в научно-исследовательской лаборатории элементного анализа Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре Agilent Technologies 7900 ICP-MS (Agilent Technologies, США) в пробах волос. В каждом образце проанализирован спектр из 35 элементов: 18 жизненно необходимых (B, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, Se, V, Zn, Si, Ge) и 17 токсичных (Ti, Sb, Al, As, Ba, Be, Cd, Cs, Hg, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, Sn, Li, Ag). В качестве референсных интервалов (норма) использовали совокупность результатов анализа международных норм и интервалов для элементов у взрослого населения, полученных

в научно-исследовательской лаборатории элементного анализа Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программных пакетов Microsoft Excel XP (Microsoft Corp., США) и Statistica 13.0 (StatSoft Inc., США). Распределение данных было неравномерным, поэтому в качестве описательных характеристик использовали медиану, нижний и верхний квартили. Для сравнения двух независимых выборок применяли U-критерий Манна–Уитни и *p*-значение. Для определения статистических взаимосвязей между переменными элементного анализа и показателями состояния лёгких использовали корреляционный анализ с применением коэффициента ранговой корреляции по Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У обследованных сотрудников ФПС ГПС МЧС России при изучении элементного статуса в пробах волос выявлено повышенное содержание ряда токсичных элементов: у 15% обследованных — алюминия, у 20% — кадмия, у 12% — серебра; кроме того, у 5% пожарных обнаружено повышенное содержание свинца, никеля и мышьяка (рис. 1).

На фоне увеличения концентрации токсичных элементов наблюдали сниженное содержание жизненно необходимых: у 67% пожарных — дефицит йода, у 85% — кобальта, у 35% — магния, у 36% — кальция, у 40% — селена и у 25% — цинка (рис. 2), что соотносится с ранее проведёнными исследованиями и характерно для сотрудников ФПС ГПС МЧС России [6, 7].

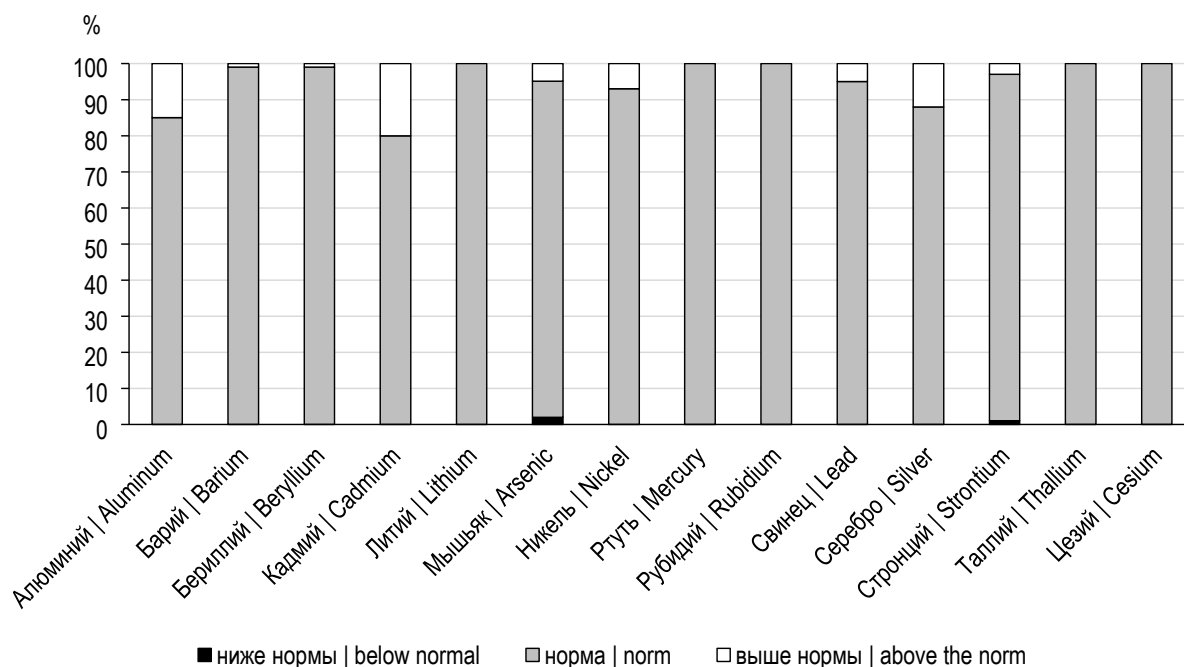


Рис. 1. Доля обследованных пожарных со сниженными, нормальными и повышенными значениями токсичных элементов.
Fig. 1. The proportion of surveyed firefighters with reduced, nominal and increased concentrations of toxic elements.

Тенденция к накоплению токсичных элементов у пожарных хорошо прослеживается при сравнении с группой контроля (табл. 1). У пожарных по сравнению с группой лиц, не участвующих в пожаротушении, отмечено увеличение в пробах волос концентрации алюминия в 4,6 раза (Мес=3,49 мкг/г; Меп=18,5 мкг/г; U=42; $p=0,001$), концентрации кадмия — в 8,0 раза (Мес=0,08 мкг/г; Меп=0,01 мкг/г; U=311; $p=0,001$), свинца — в 5,6 раза (Мес=1,42 мкг/г; Меп=0,25 мкг/г; U=497,5; $p=0,0001$), серебра — в 2,3 раза (Мес=0,14 мкг/г; Меп=0,06 мкг/г; U=406,5; $p=0,001$). Здесь: Мес — медиана группы сравнения, Меп — медиана пожарных.

При анализе взаимосвязи концентрации токсичных биоэлементов со стажем работы по специальности у обследованных сотрудников ФПС ГПС МЧС России различий не выявлено.

В группе курящих пожарных выявлено существенное (в 1,5 раза) повышение концентрации алюминия по сравнению с некурящими (17,06 и 11,0 мкг/г соответственно, $p < 0,05$), а также концентрации серебра почти в 2 раза (0,09 и 0,05 мкг/г соответственно, $p < 0,05$), кроме того, в группе курящих имеется тенденция к накоплению кадмия по сравнению с некурящими пожарными (0,11 и 0,16 мкг/г соответственно, $p=0,19$).

По результатам оценки состояния бронхолегочной системы всех обследуемых пожарных разделили на три группы: с нормальной и сниженной диффузионной способностью лёгких; с наличием (фиброз, пневмофиброз и др.) и отсутствием изменений в лёгких по результатам рентгенологических исследований; с наличием или отсутствием бронхиальной обструкции (рис. 3–5). В каждой группе проанализированы показатели биоэлементного

Таблица 1. Уровень токсичных элементов в пробах волос у пожарных ($n=97$) и в группе сравнения ($n=34$), мкг/г, Ме [25; 75]

Table 1. The level of toxic elements in hair samples of firefighters ($n=97$) and in the comparison group ($n=34$), mkg/g, Me [25; 75]

Элемент Element	Пожарные Firefighters	Группа сравнения Comparison group
Al*	18,50 [7,58; 28,90]	3,49 [0,98; 6,65]
Ba	1,18 [0,46; 2,47]	1,5 [0,08; 4,73]
Be	0	0
Li	0,01 [0; 0,04]	0
Cd*	0,08 [0,04; 0,15]	0,01 [0,01; 0,02]
As	0,10 [0,02; 0,15]	0,06 [0,08; 0,3]
Ni	0,58 [0,37; 1,12]	0,71 [0,25; 3,21]
Sn	0,91 [0,12; 2,49]	0,42 [0,05; 0,65]
Hg	0,04 [0,01; 0,16]	0,08 [0,06; 0,11]
Rb	0,13 [0,08; 0,26]	0,02 [0,03; 0,07]
Pb*	1,42 [0,68; 3,12]	0,25 [0,10; 0,57]
Ag*	0,14 [0,04; 0,20]	0,06 [0,03; 0,10]
Sr	0,92 [0,51; 1,78]	0,75 [0,37; 1,03]
Sb	0,01 [0; 0,03]	0
Tl	0	0
Ti	0,216 [0,051; 2,621]	0,089 [0,048; 0,213]
Cs	0	0

* различия между группами статистически значимы, $p < 0,05$.

* differences between groups are statistically significant, $p < 0,05$.

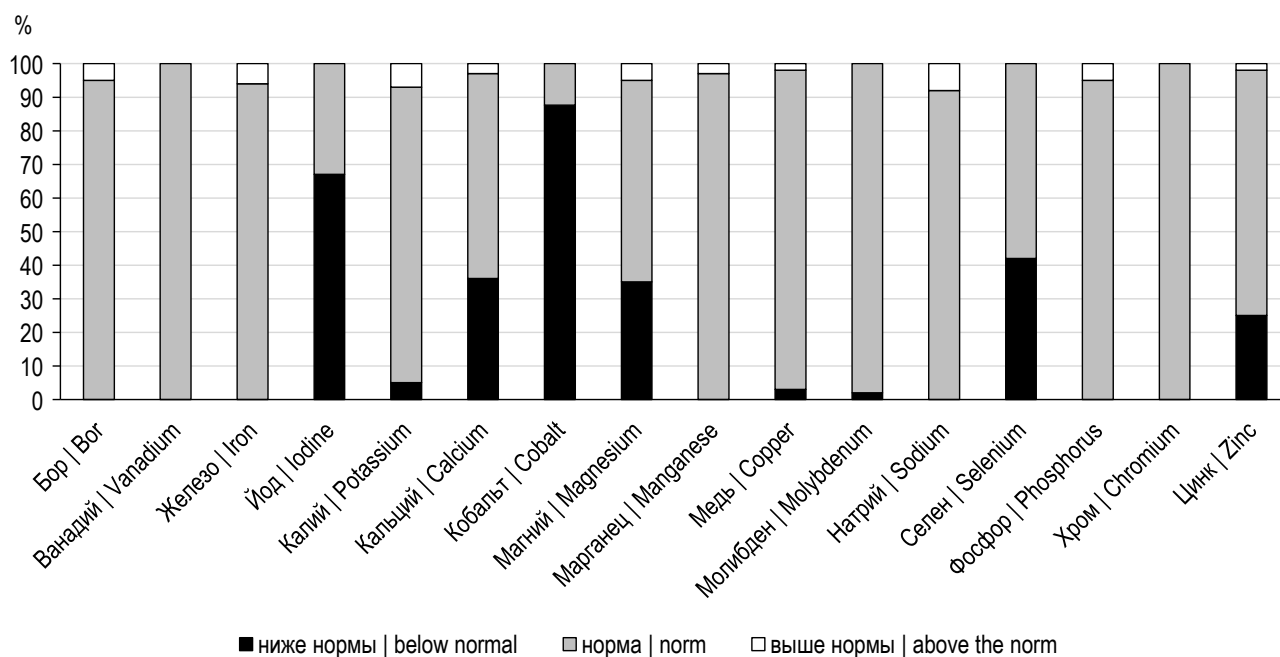


Рис. 2. Доля обследованных пожарных со сниженными, нормальными и повышенными значениями жизненно необходимых элементов, %.

Fig. 2. The proportion of surveyed firefighters with reduced, normal and increased values of vital elements, %.

статуса. Не выявлено отличий по концентрации токсичных микроэлементов в пробах волос у пожарных с нормальной и сниженной диффузионной способностью лёгких. В группе с наличием рентгенологических изменений в лёгких

отмечено повышение концентрации кадмия, однако это отличие не было статистически значимым (концентрации 0,12 и 0,17 мкг/г соответственно; $p=0,07$; $U=568,5$). Наблюдалось статистически значимое увеличение концентрации

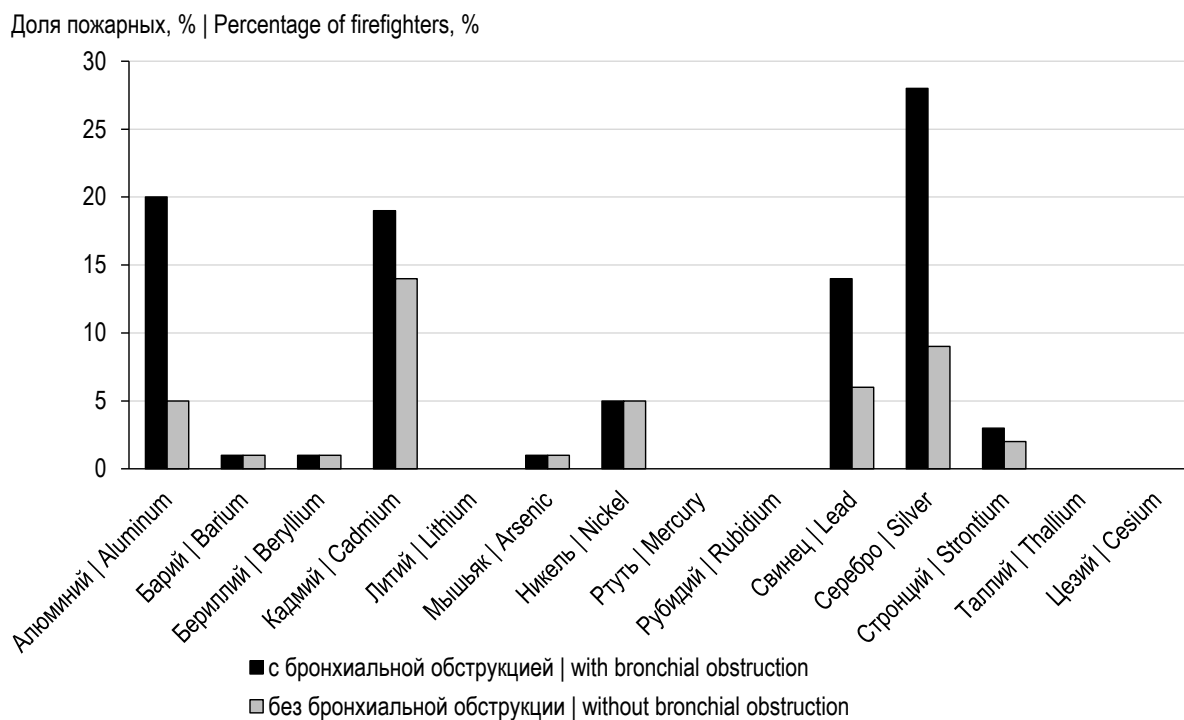


Рис. 3. Доля пожарных с повышенным содержанием токсичных микроэлементов в пробах волос среди лиц с наличием или отсутствием бронхиальной обструкции, %.

Fig. 3. The proportion of firefighters with an increased content of toxic trace elements in hair samples among persons with or without bronchial obstruction, %.

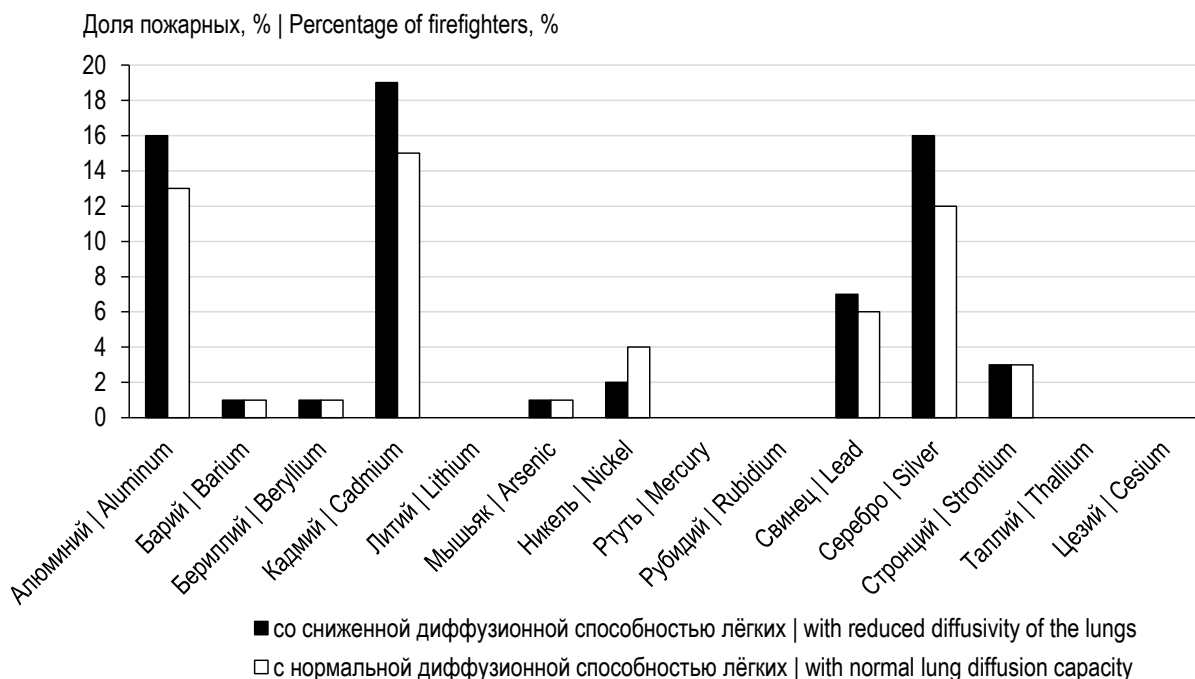


Рис. 4. Доля пожарных с повышенным содержанием токсичных микроэлементов в пробах волос среди лиц со сниженной и нормальной диффузионной способностью лёгких, %.

Fig. 4. The proportion of firefighters with an increased toxic trace elements concentration in hair samples among persons with reduced and normal lung diffusion capacity, %.

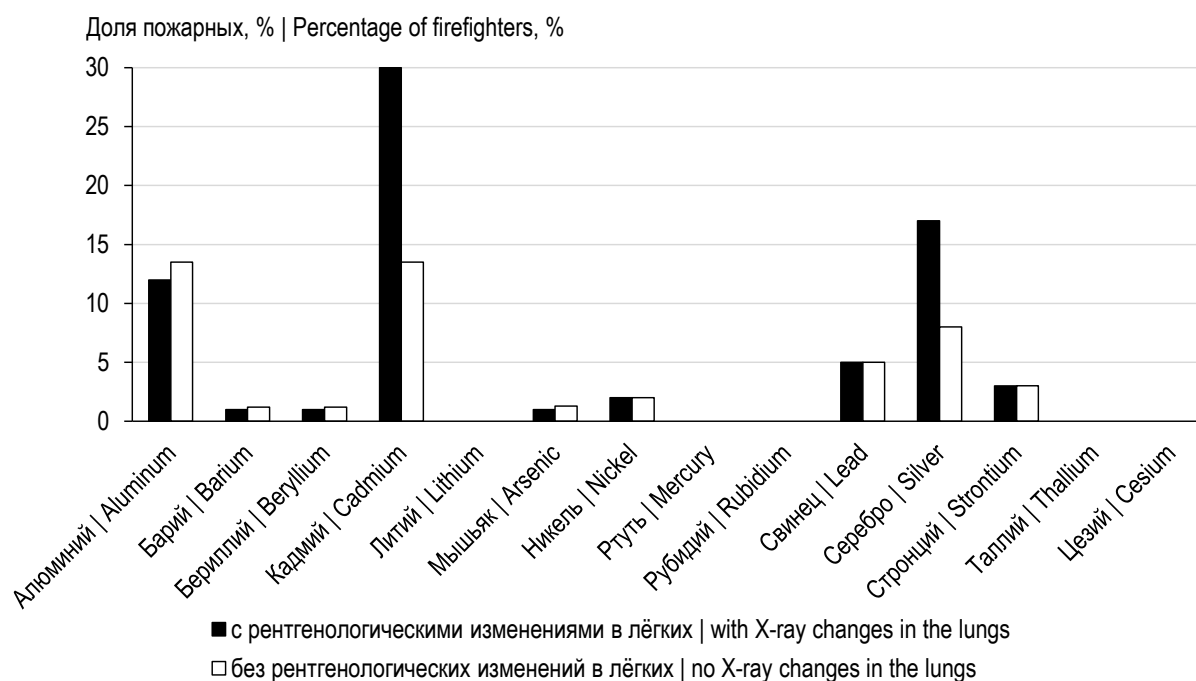


Рис. 5. Доля пожарных с повышенным содержанием токсичных микроэлементов в пробах волос среди лиц с наличием и отсутствием рентгенологических изменений в лёгких, %.

Fig. 5. The proportion of firefighters with an increased toxic trace elements concentration in hair samples among persons with the presence and absence of radiological changes in the lungs, %.

серебра у пожарных с бронхообструктивными изменениями по сравнению с лицами, имеющими нормальные показатели бронхиальной проводимости (0,20 и 0,06 мкг/г соответственно; $p=0,017$; $U=489,5$).

Анализ полученных данных показал, что в группе пожарных с бронхиальной обструкцией у 20% лиц отмечено повышение концентрации в волосах алюминия, у 18% — кадмия, у 28% — серебра, у 14% — свинца. В группе без бронхиальной обструкции доля пожарных с повышенным содержанием токсичных элементов была значительно ниже: по алюминию — в 4 раза (5%), по свинцу — в 2 раза (6%), по серебру — в 4 раза (7%), по кадмию — в 1,3 раза (14%) (см. рис. 3).

В группе пожарных со сниженной диффузионной способностью лёгких в 1,3 раза чаще выявлено превышение концентрации алюминия, кадмия, серебра, свинца, чем среди пожарных с нормальной диффузионной способностью лёгких (см. рис. 4).

Среди пожарных, у которых обнаружены рентгенологические изменения в лёгких (фиброз, пневмофиброз), доля лиц с повышенным содержанием кадмия в волосах составила 30%, с повышенным содержанием серебра — 17%, что в 2,5 раза выше по сравнению с группой пожарных без выявленных рентгенологических изменений (см. рис. 5).

Таким образом, среди пожарных, у которых были выявлены изменения в бронхолёгочной системе, отмечено статистически значимое увеличение доли лиц с повышенным содержанием ряда токсичных микроэлементов

(алюминий, серебро, свинец и кадмий) по сравнению с пожарными без выявленной патологии, что ещё раз подтверждает влияние этих элементов на патологический процесс.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном исследовании показано, что у пожарных МЧС России происходит накопление токсических элементов и снижение содержания жизненно необходимых элементов [6, 7].

При оценке взаимосвязи раннего поражения лёгких и биоэлементного статуса наиболее значимыми элементами оказались серебро, кадмий, алюминий. Данные элементы, попадая в организм в составе компонентов дыма через вдох, способны вызывать деструктивные изменения. Как было показано ранее [8, 9], воздействие токсичных металлов может способствовать усилению окислительного стресса и воспалению в эпителии лёгких, что приводит к разрушению тканей и клинически может проявляться бронхообструктивными изменениями и фиброзом.

В нашем исследовании показана тенденция к накоплению кадмия в группе пожарных с фиброзными изменениями в лёгких, и это соотносится с литературными данными, описывающими механизм поражения лёгких. Имеются единичные работы, проведённые на людях, в которых показано повышение концентрации кадмия в различных биопробах у лиц с хронической обструкцией

лёгких [10]. Механизм развития фиброза лёгких изучен на клеточных культурах, где показано, что длительное воздействие кадмия в малых концентрациях индуцирует дифференцировку миофибробластов за счёт нарушения регуляции актинового цитоскелета и активизации окислительно-восстановительных процессов, и это приводит к повышению жёсткости цитоскелета и формированию соединительно-тканых волокон [2, 5, 11, 12].

В группе пожарных с бронхиальной обструкцией выявлено статистически значимое повышение концентрации серебра. Как показал анализ литературных данных, действие ионов серебра на формирование патологии в лёгких изучено недостаточно. В единичных работах на лабораторных моделях животных показано, что серебро способно вызывать как минимальные воспалительные процессы, так и серьёзные деструктивные нарушения, приводящие к функциональным и структурным изменениям в лёгких [13, 14]. Так, в работе W. Ma и соавт. [15] описано, что длительное воздействие частицами серебра приводило к увеличению толщины альвеолярных перегородок, уменьшению альвеол, разрыву альвеолярных оболочек и инфильтрации воспалительных клеток в лёгкие. Основными механизмами, инициирующими воспалительный процесс, как и в случае с другими металлами, служат окислительный стресс и увеличение количества воспалительных цитокинов (интерлейкинов IL-1 β , IL-6 и фактора некроза опухоли α) [15–17]. Данные о корреляции содержания серебра в биологических субстратах человека с болезнями дыхательной системы отсутствуют.

Помимо профессионального фактора, влияющего на формирование патологии лёгких у пожарных, существует ещё и фактор курения. Нами показано статистически значимое повышение содержания серебра и алюминия в группе курящих. На сегодняшний день имеются данные, что в состав табачных изделий входят соли алюминия [16].

Наше исследование подтверждает патологическое воздействие алюминия. Ранее было показано, что соединения алюминия оказывают патологическое воздействие на многие системы организма. При вдыхании табачного дыма ионы алюминия оседают на слизистой оболочке органов дыхания. Одним из механизмов является воздействие на активацию свободнорадикального окисления липидов и ингибирование процесса восстановления окисленного глутатиона, что усиливает воспалительный процесс. В единичных исследованиях описано влияние соединений алюминия на развитие фиброзного процесса в лёгких [18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Engelsman M., Toms L.M.L., Banks A., et al. Biomonitoring in firefighters for volatile organic compounds, semivolatile organic compounds, persistent organic pollutants, and metals: a systematic review // *Environ Res.* 2020. Vol. 188. P. 109562. doi: 10.1016/j.envres.2020.109562
- Hu X., Chandler J.D., Park S., et al. Low-dose cadmium disrupts mitochondrial citric acid cycle and lipid metabolism in mouse lung // *Free Radic Biol Med.* 2019. Vol. 131. P. 209–217. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.12.005

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведённом исследовании установлено повышение концентрации токсичных элементов и их взаимосвязи с ранними поражениями лёгких пожарных. Выявленное повышение концентрации серебра у пожарных хорошо соотносится с описываемыми механизмом воспаления литературными данными, полученными на лабораторных моделях. Можно предположить, что у людей механизм развития бронхолёгочных заболеваний будет похожим. Алюминий и кадмий также участвуют в развитии воспалительного процесса и влияют на образование фиброза лёгочной ткани.

Для предотвращения развития патологических процессов необходимо рекомендовать работникам МЧС, участвующим в тушении пожаров, восполнять содержание жизненно необходимых элементов, таких как цинк, селен и кальций, являющихся антагонистами кадмия, алюминия и серебра.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: М.А. Власенко — дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка первичного варианта статьи; М.В. Санников — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи; М.В. Яковлева — получение данных, аналитическое обобщение материала; С.С. Алексанин — редактирование статьи, утверждение присланной в редакцию рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contribution: M.A. Vlasenko — research design, data analysis and interpretation, preparation of the primary version of the article; M.V. Sannikov — concept and design of the study, editing of the article; M.V. Yakovleva — data acquisition, analytical generalization of the material; S.S. Aleksanin — editing of the article, approval of the manuscript sent to the editorial office. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Финансирование. Исследование и подготовка публикации проведены на личные средства авторского коллектива.

Funding sources. Study and publication prepared without external funding.

Конфликт интересов. Конфликта интересов нет.

Competing interests. There is no conflict of interest.

3. Jing Y., Liu L.Z., Jiang Y., et al. Cadmium increases HIF-1 and VEGF expression through ROS, ERK, and AKT signaling pathways and induces malignant transformation of human bronchial epithelial cells // *Toxicol Sci.* 2012. Vol. 125, N 1. P. 10–19. doi: 10.1093/toxsci/kfr256
4. Санников М.В., Алексанин С.С. Эпидемиологический анализ результатов углубленных медицинских осмотров профессиональных спасателей МЧС России // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях.* 2009. № 4. С. 5–9.
5. Kimura K., Nakano Y., Sugizaki T., et al. Protective effect of polaprezinc on cadmium-induced injury of lung epithelium // *Metallomics.* 2019. Vol. 11, N 7. P. 1310–1320. doi: 10.1039/c9mt00060g
6. Власенко М.А. Элементный статус, показатели свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы у сотрудников Федеральной противопожарной службы МЧС России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2012. 24 с. Режим доступа: <https://www.disserscat.com/content/elementnyi-status-pokazateli-svobodnoradikalnogo-okisleniya-i-antioksidantnoi-sistemy-u-sotr>
7. Шантырь И.И., Яковлева М.В., Власенко М.А., и др. Изменение биоэлементного статуса пожарных северо-западного региона // *Медицина труда и промышленная экология.* 2018. № 4. С. 33–37.
8. Cheng X., Zhou Y.C., Zhou B., et al. Systematic analysis of concentrations of 52 elements in tumor and counterpart normal tissues of patients with non-small cell lung cancer // *Cancer Med.* 2019. Vol. 8, N 18. P. 7720–7727. doi: 10.1002/cam4.2629
9. Go Y.M., Orr M., Jones D.P. Actin cytoskeleton redox proteome oxidation by cadmium // *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2013. Vol. 350, N 11. P. L831–L843. doi: 10.1152/ajplung.00203.2013
10. Hu X., Fernandes J., Jones D.P., Go Y.M. Cadmium stimulates myofibroblast differentiation and mouse lung fibrosis // *Toxicology.* 2017. Vol. 383. P. 50–56. doi: 10.1016/j.tox.2017.03.018
11. Li F.J., Suroliia R., Li H., et al. Low-dose cadmium exposure induces peribronchiolar fibrosis through site-specific phosphorylation of vimentin // *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2017. Vol. 313, N 1. P. L80–L91. doi: 10.1152/ajplung.00087.2017
12. Tao C., Pei Y., Zhang L., Zhang Y. Microbial communities respond to microenvironments in lungs of mice under simulated exposure to cadmium aerosols // *Sci Total Environ.* 2020. Vol. 710. P. 136300. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136300
13. Assad N., Sood A., Campen M.J., Zychowski K.E. Metals-induced pulmonary fibrosis // *Curr Environ Health Rep.* 2018. Vol. 5, N 4. P. 486–498. doi: 10.1007/s40572-018-0219-7
14. Braakhuis H.M., Cassee F.R., Fokkens P.H., et al. Identification of the appropriate dose metric for pulmonary inflammation of silver nanoparticles in an inhalation toxicity study // *Nanotoxicology.* 2016. Vol. 10, N 1. P. 63–73. doi: 10.3109/17435390.2015.1012184
15. Ma W., He S., Ma H., et al. Silver nanoparticle exposure causes pulmonary structural damage and mitochondrial dynamic imbalance in the rat: protective effects of sodium selenite // *Int J Nanomedicine.* 2020. Vol. 15. P. 633–645. doi: 10.2147/IJN.S232986
16. Cao D.J., Aldy K., Hsu S., et al. Review of health consequences of electronic cigarettes and the outbreak of electronic cigarette or vaping product use-associated lung injury // *J Med Toxicol.* 2020. Vol. 16, N 3. P. 295–310. doi: 10.1007/s13181-020-00772-w
17. Guo C., Buckley A., Marczylo T., et al. The small airway epithelium as a target for the adverse pulmonary effects of silver nanoparticle inhalation // *Nanotoxicology.* 2018. Vol. 12, N 6. P. 539–553. doi: 10.1080/17435390.2018.1465140
18. Feng W., Huang X., Zhang C., et al. The dose–response association of urinary metals with altered pulmonary function and risks of restrictive and obstructive lung diseases: a population-based study in China // *BMJ Open.* 2015. Vol. 5, N 5. P. e007643. doi: 10.1136/bmjopen-2015-007643

REFERENCES

1. Engelsman M, Toms LML, Banks A, et al. Biomonitoring in firefighters for volatile organic compounds, semivolatile organic compounds, persistent organic pollutants, and metals: a systematic review. *Environ Res.* 2020;188:109562. doi: 10.1016/j.envres.2020.109562
2. Hu X, Chandler JD, Park S, et al. Low-dose cadmium disrupts mitochondrial citric acid cycle and lipid metabolism in mouse lung. *Free Radic Biol Med.* 2019;131:209–217. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.12.005
3. Jing Y, Liu LZ, Jiang Y, et al. Cadmium increases HIF-1 and VEGF expression through ROS, ERK, and AKT signaling pathways and induces malignant transformation of human bronchial epithelial cells. *Toxicol Sci.* 2012;125(1):10–19. doi: 10.1093/toxsci/kfr256
4. Sannikov MV, Aleksanin SS. Epidemiological analysis of results of in-depth medical examinations of professional rescuers of the EMERCOM of Russia. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations.* 2009;(4):5–9. (In Russ).
5. Kimura K, Nakano Y, Sugizaki T, et al. Protective effect of polaprezinc on cadmium-induced injury of lung epithelium. *Metallomics.* 2019;11(7):1310–1320. doi: 10.1039/c9mt00060g
6. Vlasenko MA. *Elementnyi status, pokazateli svobodnoradikal'no-go okisleniya i antioksidantnoi sistemy u sotrudnikov Federal'noi protivopozharnoi sluzhby MChS Rossii* [dissertation]. Saint Petersburg, 2012. 24 p. Available from: <https://www.disserscat.com/content/elementnyi-status-pokazateli-svobodnoradikalnogo-okisleniya-i-antioksidantnoi-sistemy-u-sotr> (In Russ).
7. Shantyry II, Yakovleva MV, Vlasenko MA, et al. Changes in the bioelemental state of firemen of the north-west region. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2018;(4):33–37. (In Russ).
8. Cheng X, Zhou YC, Zhou B, et al. Systematic analysis of concentrations of 52 elements in tumor and counterpart normal tissues of patients with nonsmall cell lung cancer. *Cancer Med.* 2019;8(18):7720–7727. doi: 10.1002/cam4.2629

9. Go YM, Orr M, Jones DP. Actin cytoskeleton redox proteome oxidation by cadmium. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2013;350(11):L831–L843. doi: 10.1152/ajplung.00203.2013
10. Hu X, Fernandes J, Jones DP, Go YM. Cadmium stimulates myofibroblast differentiation and mouse lung fibrosis. *Toxicology*. 2017;383:50–56. doi: 10.1016/j.tox.2017.03.018
11. Li FJ, Surolija R, Li H, et al. Low-dose cadmium exposure induces peribronchiolar fibrosis through site-specific phosphorylation of vimentin. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2017;313(1):L80–L91. doi: 10.1152/ajplung.00087.2017
12. Tao C, Pei Y, Zhang L, Zhang Y. Microbial communities respond to microenvironments in lungs of mice under simulated exposure to cadmium aerosols. *Sci Total Environ*. 2020;710:136300. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136300
13. Assad N, Sood A, Campen MJ, Zychowski KE. Metals-induced pulmonary fibrosis. *Curr Environ Health Rep*. 2018;5(4):486–498. doi: 10.1007/s40572-018-0219-7
14. Braakhuis HM, Cassee FR, Fokkens PH, et al. Identification of the appropriate dose metric for pulmonary inflammation of silver nanoparticles in an inhalation toxicity study. *Nanotoxicology*. 2016;10(1):63–73. doi: 10.3109/17435390.2015.1012184
15. Ma W, He S, Ma H, et al. Silver nanoparticle exposure causes pulmonary structural damage and mitochondrial dynamic imbalance in the rat: protective effects of sodium selenite. *Int J Nanomedicine*. 2020;15:633–645. doi: 10.2147/IJN.S232986
16. Cao DJ, Aldy K, Hsu S, et al. Review of health consequences of electronic cigarettes and the outbreak of electronic cigarette or vaping product use-associated lung injury. *J Med Toxicol*. 2020;16(3):295–310. doi: 10.1007/s13181-020-00772-w
17. Guo C, Buckley A, Marczylo T, et al. The small airway epithelium as a target for the adverse pulmonary effects of silver nanoparticle inhalation. *Nanotoxicology*. 2018;12(6):539–553. doi: 10.1080/17435390.2018.1465140
18. Feng W, Huang X, Zhang C, et al. The dose–response association of urinary metals with altered pulmonary function and risks of restrictive and obstructive lung diseases: a population-based study in China. *BMJ Open*. 2015;5(5):e007643. doi: 10.1136/bmjopen-2015-007643

ОБ АВТОРАХ

***Власенко Мария Александровна**, к.б.н., старший научный сотрудник; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 4/2; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2836-6891>; eLibrary SPIN: 6649-9224; e-mail: vlasenkomaria@gmail.com

Санников Максим Валерьевич, к.м.н., ведущий научный сотрудник; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3969-9501>; eLibrary SPIN: 3663-4650; e-mail: smakv@mail.ru

Яковлева Мария Владимировна, к.б.н., ведущий научный сотрудник; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9709-8299>; eLibrary SPIN: 3229-4912; e-mail: iakorobok@mail.ru

Алексанин Сергей Сергеевич, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6998-1669>; eLibrary SPIN: 1256-5967; e-mail: medicine@nrcerm.ru

AUTHORS' INFO

***Marija A. Vlasenko**, MD, Cand. Sci. (Biol.), senior research associate; address: 4/2 Akademika Lebedeva street, 194044, Saint Petersburg, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2836-6891>; eLibrary SPIN: 6649-9224; e-mail: vlasenkomaria@gmail.com

Maksim V. Sannikov, MD, Cand. Sci. (Med.), leader research associate; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3969-9501>; eLibrary SPIN: 3663-4650; e-mail: smakv@mail.ru

Marija V. Yakovleva, MD, Cand. Sci. (Biol.), leader research associate; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9709-8299>; eLibrary SPIN: 3229-4912; e-mail: iakorobok@mail.ru

Sergej S. Aleksanin, MD, Dr. Sci. (Med.), professor, associate member of the Russian Academy of Sciences; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6998-1669>; eLibrary SPIN: 1256-5967; e-mail: medicine@nrcerm.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author