

**М.В. Яковлева, М.А. Власенко, В.Ю. Рыбников,
М.В. Санников, Т.И. Шевченко**

СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ НА БОЕВОЙ ОДЕЖДЕ ПОЖАРНЫХ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России
(Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2)

Актуальность. Важность сохранения здоровья сотрудников Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России диктует необходимость мониторинга и анализа потенциально опасных токсичных веществ, выделяемых при пожаре, оседающих на боевой одежде пожарных (БОП). Изучение токсичных компонентов и оценка обработки специализированной одежды с учетом профессиональной специфики помогут дать рекомендации по улучшению данной процедуры и исключить возможное влияние на состояние здоровья пожарных продуктов горения, адсорбирующих на спецодежде.

Цель – изучить спектр химических элементов воздействия пожаров, осаждаемых на БОП, и оценить эффективность их удаления при стирке способами, применяемыми в настоящее время.

Методология. Для оценки степени загрязненности БОП сотрудников ФПС МЧС России в пожарно-спасательных частях Санкт-Петербурга провели анализ 200 образцов. Для определения спектра химических элементов, осаждаемых на БОП, применили «метод смывов», модифицированный под задачи исследования. В полученных образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой определяли 59 химических элементов. Контрольную группу составили новые и не использованные комплекты одежды, не имевшие контактов с токсичными веществами пожаров. Результаты проверили на нормальность распределения признаков. В тексте представлены медианы и их верхние и нижние квартили ($Me [q_1; q_3]$). Сходство (различия) определяли при помощи непараметрических критериев Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса.

Результаты и их анализ. Исследуемые смывы с БОП были поделены на группы в зависимости от метода чистки (ручная и машинная стирка) и варианта частоты обработки формы (после каждой смены, 1 раз/мес, не обрабатывали). По отношению к фоновым значениям (новая форма) выявлены статистически достоверные различия ($p < 0,05$) в содержании алюминия, кадмия, мышьяка, олова, сурьмы, свинца, хрома, цинка, никеля, меди, бериллия, кобальта, рубидия, молибдена, цезия, лантана, церия, неодима, вольфрама, диспрозия, скандия, галлия, иттрия, тербия. Достоверных отличий между результатами в группах с различными вариантами и частотой обработки БОП не выявлено.

Заключение. Проведенная оценка спектра накопления токсичных элементов на поверхности БОП с вариантами частоты и использованием различных методов очистки подтвердила неэффективность проводимых процедур и наличие поверхностного загрязнения токсичными химическими элементами БОП.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, токсичный химический элемент, пожар, продукты горения, метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой

✉ Яковлева Мария Владимировна – канд. биол. наук, вед. науч. сотр., Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0002-9709-8299, e-mail: iakorobok@mail.ru;

Власенко Мария Александровна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0003-2836-6891, e-mail: vlasenkomaria@gmail.com;

Рыбников Виктор Юрьевич – д-р мед. наук, д-р психол. наук проф., зам. директора по науч., учеб. работе, медицине катастроф, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0001-5527-9342, email: rvikrina@mail.ru;

Санников Максим Валерьевич – канд. мед. наук, вед. науч. сотр., Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0003-3969-9501, e-mail: smakv@mail.ru;

Шевченко Татьяна Ивановна – канд. психол. наук, ст. науч. сотр., Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0009-0002-7401-4440, e-mail: vektor-v@yandex.ru

Введение

Достижения химии последних десятилетий привели к тому, что продукты горения современных материалов стали гораздо более токсичными за счет расширения их спектра [9]. Потенциальная опасность при пожарах возрастает в связи с выделением значительного количества разнообразных токсичных веществ. Продукты горения и связанное с этим накопление токсичных химических элементов могут сказываться на функции многих органов и систем, затрагивая межсистемные и внутрисистемные закономерности метаболизма. Результаты научных исследований в этой области позволяют рассматривать накопление токсичных химических элементов в организме одним из факторов риска снижения адаптационно-приспособительных механизмов с последующим формированием патологических состояний [4, 5].

Как известно, пожары сопровождаются значительным выделением сажистых частиц, которые обладают значительной эффективной поверхностью на единицу массы и способны адсорбировать продукты горения, в том числе, обладающие значительной токсичностью. Сажистые частицы плотно оседают на боевой одежде пожарных Федеральной противопожарной службы (ФПС) Государственной противопожарной службы МЧС России, что, в свою очередь, может стать зоной токсичного влияния на организм пожарных [8, 9].

Комплект боевой одежды пожарного – комплект многослойной защитной одежды общего назначения, состоящий из куртки и брюк (полукомбинезона) или плаща, комбинезона, предназначенный для защиты пожарного от опасных и вредных факторов окружающей среды (теплового излучения, окружающей среды с повышенной температурой, кратковременного контакта с открытым пламенем), возникающих при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, механических воздействиях огнетушащих веществ, а также от неблагоприятных климатических воздействий. Технические требования, предъявляемые к БОП, представлены в ГОСТе Р 53264–2019. Техника пожарная. Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний.

На основании указанного, необходимо обратить особое внимание на эффективность чистки БОП.

Метод смывов является основным при отборе проб для биоэкологического и гигиенического исследования разнообразных поверхно-

стей. С помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой можно оценить качественно и количественно химические элементы в анализируемом образце. Исследование смывов с БОП методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой покажет содержание химических элементов, выбрасываемых в атмосферу в результате пожара, и накопление их на поверхности БОП. Это позволит спрогнозировать и предупредить деструктивные действия этих элементов на организм сотрудников ФПС МЧС России, а также оценить обработку БОП, проводимую в пожарных частях.

Цель – изучить спектр химических элементов воздействия пожаров, осаждаемых на БОП, и оценить эффективность их удаления при стирке способами, применяемыми в настоящее время.

Материал и методы

Для оценки накопления химических элементов воздействия пожаров, осаждаемых на БОП сотрудников ФПС МЧС России, провели анализ 200 образцов смывов с одежды с учетом различной обработки (ручная и машинная стирка) и в зависимости от ее частоты. В контрольную группу отобрали новые и не использованные комплекты одежды, не имевшие контактов с производными дыма.

Для определения спектра химических элементов на БОП применили «метод смывов», модифицированный под задачи исследования на основании нормативных документов МУК 4.1.3704-21.4.1 и МУК 4.1.1483-03.4.1. Забор смывов с БОП производили с помощью увлажненных стандартных фильтровальных дисков (диски 125 мм, марка ФС). В качестве раствора для проведения смывов использовали раствор азотной кислоты (5 %). Накануне взятия пробы в пластиковую химически чистую пробирку вливали 5 мл раствора 5 % азотной кислоты (фильтр данного диаметра полностью впитывает данный объем жидкости). Непосредственно перед взятием смыва фильтр увлажняли, опуская его пинцетом в пробирку со смывной жидкостью. Далее фильтр выкладывали на руку, предварительно одетую в перчатку.

Для каждого комплекта БОП были взяты две пробы: с наружной поверхности комплекта и внутренней. После взятия каждой пробы происходила смена перчаток.

Для проб с наружной поверхности были выбраны две площадки: локтевая часть куртки и коленная часть комбинезона. Увлажненный фильтр прикладывали к локтевым участкам,

время выдержки составило 15 с. Далее фильтр переворачивали и прикладывали к коленным областям комплекта одежды, время выдержки также составило 15 с. Для проб с внутренней части боевого комплекта были выбраны две площадки: внутренняя часть ворота и пояс комбинезона. Увлажненный фильтр прикладывали к внутренней зоне ворота, время выдержки составило 15 с. Затем фильтр переворачивали и прикладывали к зоне пояса, время выдержки составило 15 с.

После взятия пробы смыва фильтр погружали в химически чистую пробирку. В таком виде пробирки готовы к транспортировке. Срок хранения при закрытой крышке не ограничен.

Для подготовки пробы смыва к элементному анализу методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в пробирку с фильтром добавляли 5 мл раствора 5 % азотной кислоты. Далее фильтр гомогенизировали с помощью стеклянной палочки в пробирке с раствором 5 % азотной кислоты, через 1 ч пробы откручивали в центрифуге на 3000 об/мин. Затем из каждой пробирки отбирали 250 мкл надосадочной жидкости и переносили в чистую пробирку, доводили до объема 5 мл, добавляя 4,75 мл раствора 5 % азотной кислоты.

Полученные разведенные пробы отправляли на исследование методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Методом ИСП-МС определяли 59 химических элементов в образцах (титан, сурьма, серебро, алюминий, мышьяк, бор, барий, бериллий, кальций, кадмий, кобальт, хром, цезий, медь, железо, ртуть, йод, калий, литий, магний, марганец, молибден, натрий, никель, фосфор, свинец, рубидий, селен, стронций, талий, ванадий, цинк, кремний, германий, олово, европий, иттрий, торий, церий, цезий, рутений, уран, лантан, ниобий, лютеций, пра-

зеодим, диспрозий, гольмий, эрбий, неодим, вольфрам, родий, палладий, теллур, самарий, гадолиний, тербий, скандий, галлий) на масс-спектрометре Agilent Technologies 7900 ICP-MS в лаборатории элементного анализа Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Санкт-Петербург).

Полученные результаты проверили на нормальность распределения признаков по методу Колмогорова–Смирнова. В тексте представлены медианы, их верхние и нижние квартили ($Me [q_1; q_3]$). Сходство (различия) показателей определяли при помощи непараметрических критериев Манна–Уитни и Краскала–Уоллиса

Результаты и их анализ

При сравнении результатов измерений образцов, взятых с внешней и внутренней стороны комплектов БОП, различий в спектре химического загрязнения не выявлено. Отличия определялись только в концентрации найденных химических элементов. Концентрация химических элементов на внутренней стороне БОП оказалась статистически достоверно меньше ($p < 0,05$), чем на внешней стороне, токсичные химические элементы, осаждающиеся с частицами сажи на внутренней поверхности БОП, представлены в «следовых количествах» (рис. 1, 2). Полученные данные позволили сделать вывод, что существует риск проникновения производных дыма во внутреннюю поверхность БОП, что увеличивает вероятность попадания токсинов в организм пожарного.

Далее проведена оценка химического состава смывов с БОП в зависимости от метода стирки. Путем анкетирования собраны данные по методу обработки БОП у сотрудников ФПС МЧС России. Обработку проводили ручной и машинной стиркой.

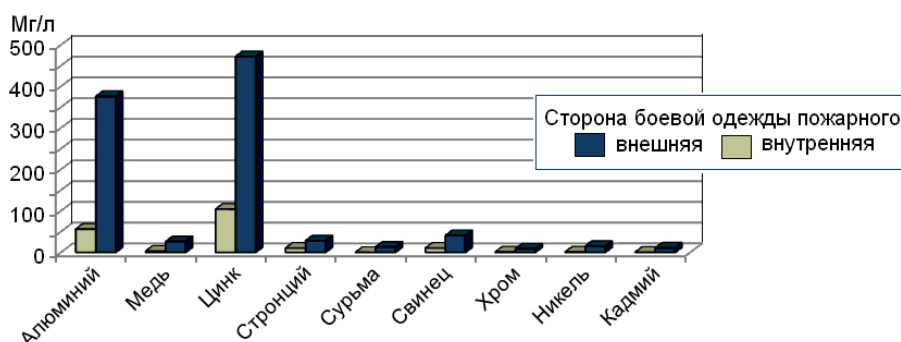


Рис. 1. Концентрация химических элементов на внутренней и внешней стороне БОП у сотрудников ФПС МЧС России ($n = 200$).

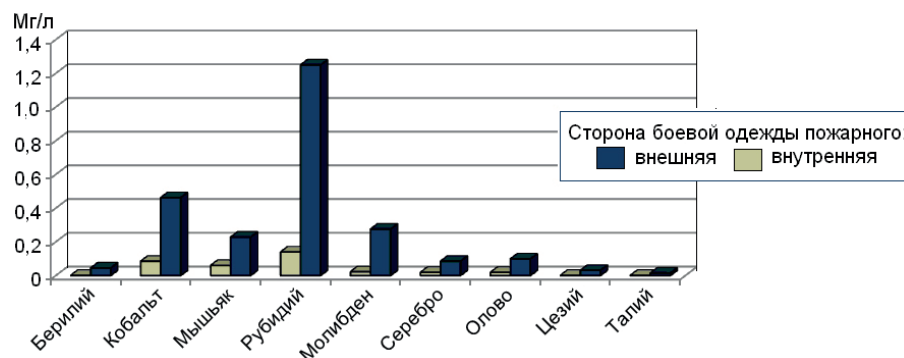


Рис. 2. Концентрация веществ на внутренней и внешней стороне БОП у сотрудников ФПС МЧС России (n = 200).

Полученные образцы смывов были разделены на подгруппы в зависимости от метода обработки и сравнили с образцами смывов с БОП, не имевших контактов с производными дыма.

Проведенное исследование выявило на поверхности БОП у сотрудников ФПС МЧС России (88 образцов, обработанных с помощью ручной и машинной стирки по отношению к фоновым значениям, новая форма) статистически достоверное повышение ($p < 0,05$) содержания: алюминия, кадмия, мышьяка, олова, сурьмы, свинца, хрома, цинка, никеля, меди, бериллия, кобальта, рубидия, молибдена, цезия, лантана, церия, неодима, вольфрама, диспрозия, скандия, галлия, иттрия, тербия (табл. 1, 2). Достоверных различий между об-

разцами, обработанными с помощью машинной и ручной стирки, не обнаружено.

На следующем этапе исследования поведения оценка химического состава смывов с БОП в зависимости от частоты обработки. Результаты химического состава отобранных смывов с БОП поделили на подгруппы в зависимости от частоты обработки: после каждой смены, 1 раз/мес, не стирают, новая форма. Достоверных отличий между группами с вариантами частоты обработки БОП не выявлено (табл. 3, 4).

Обсуждение

БОП у сотрудников ФПС МЧС России должна оказывать сопротивление огню, воде и теплу, обеспечивая при этом необходимый уровень комфорта и безопасности при рабо-

Таблица 1

Содержание токсичных химических элементов в смывах с БОП в зависимости от метода стирки, Me [q_{25} ; q_{75}] мкг/л

Химический элемент	Ручная стирка (n = 45)	Машинная стирка (n = 43)	Новая форма (n = 12)
Бериллий	0,016 [0,003; 0,017] *	0,022 [0,014; 0,031] *	0,00 [0,00; 0,01]
Алюминий	381,29 [229,34; 2610,3] *	392,03 [235,49; 724,94] *	120,38 [94,10; 147,07]
Хром	5,81 [3,66; 47,04] *	7,11 [3,46; 20,24] *	1,16 [0,86; 1,48]
Кобальт	0,53 [0,30; 1,73] *	0,38 [0,26; 0,49] *	0,084 [0,064; 0,109]
Никель	8,26 [4,26; 25,44] *	4,88 [3,69; 6,23] *	1,06 [0,68; 1,46]
Медь	30,48 [16,08; 86,94] *	22,55 [9,79; 26,25] *	3,64 [2,77; 4,79]
Цинк	576,72 [373,21; 1296,95] *	375,39 [240,19; 561,12] *	278,19 [227,01; 304,53]
Мышьяк	0,25 [0,17; 0,51] *	0,17 [0,13; 0,26] *	0,09 [0,06; 0,11]
Рубидий	1,17 [0,74; 2,42] *	1,21 [0,64; 1,79] *	0,37 [0,29; 0,44]
Стронций	29,25 [24,59; 83,45]	25,34 [15,34; 35,12]	23,32 [17,19; 26,61]
Молибден	0,29 [0,13; 1,49] *	0,36 [0,09; 0,69] *	0,08 [0,06; 0,09]
Серебро	0,076 [0,045; 0,19]	0,081 [0,05; 0,10]	0,08 [0,06; 0,09]
Кадмий	8,02 [2,81; 50,14] *	2,58 [1,77; 3,12] *	1,01 [0,59; 1,54]
Олово	0,96 [0,59; 9,62] *	0,59 [0,50; 0,88] *	0,32 [0,24; 0,39]
Сурьма	15,36 [6,28; 124,39] *	4,90 [4,71; 27,49] *	1,08 [0,91; 1,30]
Цезий	0,021 [0,01; 0,13]	0,03 [0,01; 0,09]	0,00 [0,00; 0,00]
Ртуть	0,00 [0,00; 0,00]	0,00 [0,0000282]	0,00 [0,00; 0,00]
Таллий	0,010 [0,004; 0,012]	0,009 [0,003; 0,011]	0,006 [0,004; 0,008]
Свинец	54,69 [32,71; 123,53] *	23,89 [13,73; 40,05] *	2,98 [2,21; 3,48]

* Здесь и в табл. 2–4: отличия содержания веществ по строкам по сравнению с новой формой при $p < 0,05$.

Таблица 2

Содержание редкоземельных металлов и стабильных изотопов в смывах с БОП
в зависимости от метода стирки, Ме [q₂₅; q₇₅] мкг/л

Металл	Ручная стирка (n = 45)	Машинная стирка (n = 43)	Новая форма (n = 12)
Скандий	175,69 [61,49; 175,69] *	263,54 [61,49; 351,39] *	61,49 [61,39; 61,93]
Галлий	219,71 [12,09; 397,81] *	396,99 [12,34; 696,18] *	13,91 [13,51; 13,99]
Иттрий	226,33 [129,33; 323,33] *	145,49 [129,33; 226,33] *	17,79 [16,44; 20,73]
Цирконий	9,80 [7,75; 138,75]	9,71 [9,31; 27,75]	9,71 [9,69; 9,72]
Ниобий	11,61 [4,06; 34,82] *	7,83 [4,06; 23,21]	4,03 [4,01; 4,08]
Родий	1,55 [1,48; 4,44]	1,55 [1,53; 1,56]	1,55 [1,49; 1,56]
Лантан	163,27 [20,41; 295,96] *	107,15 [20,42; 306,17] *	51,37 [28,37; 74,49]
Церий	212,75 [11,72; 433,46] *	189,13 [39,39; 614,79] *	95,21 [74,10; 138,05]
Неодим	89,10 [15,59; 133,65] *	66,83 [15,59; 89,10] *	44,86 [22,85; 65,04]
Самарий	18,43 [18,33; 105,33]	18,43 [18,24; 52,67]	18,43 [18,24; 18,44]
Европий	13,11 [4,59; 118,05] *	8,85 [4,59; 13,11] *	4,59 [4,51; 4,63]
Тербий	369,30 [296,39; 427,68] *	362,01 [315,83; 461,67] *	7,10 [7,01; 7,13]
Диспрозий	41,84 [7,32; 83,69] *	20,92 [7,32; 62,77] *	7,33 [7,15; 7,38]
Гольмий	4,79 [1,67; 19,16] *	1,67 [1,58; 4,79]	1,677 [1,61; 1,71]
Эрбий	14,09 [4,93; 42,28] *	4,93 [4,63; 4,99]	4,93 [4,71; 4,99]
Вольфрам	83,69 [20,92; 345,28] *	57,54 [20,93; 94,16] *	21,07 [13,90; 30,55]

Таблица 3

Содержание токсичных химических элементов в смывах с БОП
в зависимости от частоты обработки, Ме [q₂₅; q₇₅] мкг/л

Химический элемент	Частота обработки БОП			Новая форма (n = 12)
	после каждой смены (n = 38)	1 раз/мес (n = 26)	без обработки (n = 24)	
Бериллий	0,013 [0,003; 0,014]	0,016 [0,007; 0,024]	0,018 [0,015; 0,027]	0,008 [0,003; 0,013]
Алюминий	264,54 [229,34; 568,20] *	451,38 [272,01; 839,45] *	528,77 [398,12; 996,85] *	120,38 [94,10; 147,08]
Хром	5,81 [4,23; 22,67] *	4,49 [2,84; 29,63] *	13,12 [6,56; 37,18] *	1,17 [0,86; 1,48]
Кобальт	0,37 [0,24; 0,52] *	0,67 [0,55; 1,56] *	0,78 [0,30; 1,74] *	0,08 [0,06; 0,11]
Никель	4,91 [3,69; 8,55] *	11,27 [4,68; 21,08] *	12,03 [6,35; 25,17] *	1,06 [0,68; 1,46]
Медь	25,48 [10,79; 46,96] *	30,92 [19,34; 65,07] *	46,85 [21,62; 74,18] *	3,64 [2,77; 4,79]
Цинк	378,34 [278,51; 706,90]	582,29 [404,28; 922,29] *	786,94 [456,87; 1040,4] *	278,19 [227,01; 304,53]
Мышьяк	0,19 [0,14; 0,30] *	0,30 [0,17; 0,51] *	0,34 [0,18; 0,76] *	0,09 [0,06; 0,11]
Рубидий	1,10 [0,81; 2,04] *	1,18 [0,57; 1,79] *	1,38 [1,17; 2,76] *	0,37 [0,29; 0,44]
Стронций	29,68 [24,63; 80,23]	28,83 [19,83; 45,98]	43,31 [26,18; 125,73] *	23,32 [17,19; 26,61]
Молибден	0,18 [0,09; 0,46] *	0,44 [0,17; 1,71] *	0,75 [0,44; 1,86] *	0,08 [0,068; 0,09]
Серебро	0,075 [0,04; 0,19]	0,09 [0,05; 0,14]	0,12 [0,06; 0,44]	0,08 [0,06; 0,09]
Кадмий	3,41 [2,48; 10,38] *	8,14 [3,65; 26,63] *	9,64 [2,81; 34,79] *	1,01 [0,59; 1,54]
Олово	0,61 [0,51; 0,81] *	0,87 [0,58; 9,36] *	1,39 [0,68; 9,17] *	0,32 [0,24; 0,39]
Сурьма	8,42 [4,93; 19,23] *	18,21 [7,62; 25,30] *	20,76 [7,99; 48,88] *	1,08 [0,92; 1,30]
Цезий	0,014 [0,011; 0,069] *	0,027 [0,013; 0,136] *	0,06 [0,03; 0,16] *	0,001 [0,001; 0,003]
Ртуть	0,001 [0,00; 0,004]	0,00 [0,00; 0,00]	0,001 [0,000; 0,007]	0,001 [0,000; 0,003]
Таллий	0,014 [0,005; 0,025] *	0,011 [0,01; 0,022] *	0,013 [0,008; 0,034] *	0,001 [0,001; 0,003]
Свинец	48,12 [17,41; 54,75] *	60,14 [29,61; 98,88] *	92,58 [34,94; 116,87] *	2,98 [2,21; 3,48]

те. Большинство материалов, используемых в производстве одежды пожарных, являются пористыми материалами, изготовленными из волокон, способных поглощать и удерживать токсичные газы и пары, образующиеся при пожарах. Многослойная структура одежды пожарных и абсорбционные свойства волокон создают препятствия для эффективной очистки и удаления вредных веществ, накопившихся на ее поверхности [8, 9].

На основании достоверных отличий показателей смывов новой формы и формы, использованной при тушении пожаров в случае различной частоты и качества проводимой стирки БОП, можно предположить, что спецодежда у сотрудников ФПС МЧС России накапливает токсичные вещества на поверхности.

При длительном контакте с такими частицами на БОП или же в результате повторного воздействия даже очень небольшого количества

Таблица 4

Содержание редкоземельных металлов и стабильных изотопов в смывах с БОП
в зависимости от частоты обработки, Me [q₂₅; q₇₅] мкг/л

Металл	Частота обработки БОП			Новая форма (n = 12)
	после каждой смены (n = 38)	1 раз/мес (n = 26)	без обработки (n = 24)	
Скандий	175,69 [155,69; 351,39] *	181,49 [161,49; 275,69] *	275,69 [141,49; 363,54] *	61,493 [61,09; 61,99]
Галлий	31,92 [2,93; 56,99] *	39,62 [1,99; 56,99] *	42,29 [12,09; 59,01] *	1,91 [1,21; 2,12]
Иттрий	177,83 [109,33; 323,33] *	210,16 [96,99; 385,01] *	226,33 [96,99; 290,99] *	17,79 [16,44; 20,73]
Цирконий	15,50 [7,75; 52,63]	18,73 [9,71; 69,37]	27,75 [10,14; 91,00]	9,71 [9,01; 9,98]
Ниобий	10,61 [7,83; 24,82]	12,81 [4,06; 26,02]	13,01 [10,31; 29,65]	4,03 [4,01; 4,68]
Родий	1,55 [1,55; 5,67]	1,55 [1,55; 4,44]	2,00 [1,55; 4,44]	1,55 [1,45; 1,63]
Лантан	147,97 [15,18; 239,82] *	158,17 [20,41; 240,85] *	185,13 [13,19; 258,24] *	51,37 [28,37; 74,49]
Церий	204,877 [28,04; 340,69] *	226,11 [29,09; 359,60] *	283,10 [25,21; 389,61] *	95,21 [74,10; 138,05]
Неодим	52,55 [49,53; 93,65]	66,82 [15,59; 94,65]	178,20 [89,10; 267,31] *	44,86 [22,85; 65,04]
Самарий	21,02 [14,23; 101,67]	25,55 [18,43; 79,00]	29,00 [18,43; 103,35] *	18,43 [18,04; 28,44]
Европий	7,39 [4,59; 72,14]	13,11 [8,85; 77,07] *	26,23 [13,11; 87,72] *	4,59 [4,59; 4,59]
Тербий	326,86 [126,39; 403,33] *	347,42 [189,09; 447,08] *	413,05 [183,88; 444,65] *	7,10 [6,12; 9,10]
Диспрозий	31,38 [14,12; 73,23] *	40,92 [17,32; 72,31] *	53,69 [41,84; 109,88] *	7,33 [7,03; 7,53]
Гольмий	2,79 [1,67; 16,33]	7,67 [1,67; 14,37] *	8,58 [4,79; 18,14] *	1,67 [1,49; 1,82]
Эрбий	14,09 [4,93; 99,80] *	14,93 [13,22; 91,14] *	28,18 [4,93; 77,51] *	4,93 [4,88; 4,97]
Вольфрам	120,31 [31,38; 350,52] *	147,08 [45,69; 388,92] *	203,23 [78,28; 434,24] *	21,07 [13,91; 30,55]

Таблица 5

Воздействие на организм токсичных химических веществ [3, 6]

Металл	Воздействие на организм человека
Металл I класса опасности	
Мышьяк	Поражает органы дыхания, изменяет состояние кожных покровов, влияет на состав крови
Кадмий	Нарушает работу желудочно-кишечного тракта, мочеполовой системы и органов дыхания
Ртуть	Поражает центральную нервную систему, опорно-двигательный аппарат, нарушает работу желудочно-кишечного тракта, изменения состава крови, воздействует на слизистую оболочку
Бериллий	Поражает органы дыхания, нарушает механизмы реакций (замещает магний в некоторых реакциях), обладает аллергическим и канцерогенным свойствам
Селен	Поражает сердечно-сосудистую систему, нарушает работу желудочно-кишечного тракта, поражает центральную нервную систему, изменяет состояние кожных покровов, происходит выпадение волос, изменение структуры ногтей
Свинец	Поражает центральную нервную систему, приводит к снижению иммунитета, нарушает строение костной ткани, поражает желудочно-кишечный тракт, нарушает липидный обмен, водно-солевой баланс, поражает мочеполовую систему
Цинк	Нарушает работу желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы
Металл II класса опасности	
Кобальт	Нарушает работу сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, поражает центральную нервную систему, эндокринную систему, изменяет состав крови и состояние кожных покровов
Хром	Нарушает работу органов дыхания, желудочно-кишечного тракта, изменяет состояние кожных покровов
Медь	Нарушает работу мочеполовой системы, сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, желудочно-кишечного тракта, поражает центральную нервную систему, нарушает водно-солевой баланс
Молибден	Нарушает липидный обмен, водно-солевой баланс, воздействует на слизистую оболочку, нарушает работу желудочно-кишечного тракта, мочеполовой системы
Никель	Поражает центральную нервную систему, воздействует на слизистую оболочку, изменяет состояние кожных покровов, нарушает работу сердечно-сосудистой, мочеполовой системы, органов дыхания, снижает работу иммунитета, разрушает хромосомы и другие элементы клеток
Сурьма	Нарушает работу липидного и углеводного обмена, изменяет состояние кожных покровов, нарушает работу желудочно-кишечного тракта, мочеполовой системы, органов зрения, органов дыхания, поражает центральную нервную систему
Металл III класса опасности	
Ванадий	Нарушает работу органов дыхания, воздействует на слизистую оболочку глаз, изменяет состав крови, состояние кожных покровов
Барий	Поражает центральную нервную систему, нарушает работу желудочно-кишечного тракта, опорно-двигательного аппарата, изменяет водно-солевой баланс и состав крови
Вольфрам	Поражает органы дыхания
Марганец	Поражает костно-мышечную систему, центральную нервную систему, изменяет состав крови, нарушает водно-солевой баланс
Стронций	Угнетает котный мозг, изменяет состав крови, нарушает водно-солевой баланс

таких токсичных веществ (хроническая токсичность) данный контакт может оказывать неблагоприятное влияние на здоровье сотрудников ФПС МЧС России. В табл. 5 показаны риски воздействия токсичных химических элементов при превышении допустимых концентраций на организм человека.

Необходимо отметить, что при анализе смывов с БОП у сотрудников ФПС МЧС России были найдены редкоземельные металлы, актиноиды и лантаноиды. На основе атомной массы, редкоземельные металлы разделяются на 2 группы: «легкие» (празеодим) и «тяжелые» (диспрозий, гольмий, эрбий). Легкие редкоземельные металлы накапливаются в основном в печени, в то время как тяжелые редкоземельные имеют тенденцию замещать кальций в костях. При превышении предельно допустимых норм редкоземельные металлы могут поражать легкие, кровь, разрушать тромбоциты, изменять структуру ДНК, приводить к нарушениям работы почек и головного

мозга. К патологическим состояниям организма может приводить также поступление с дымом актиноидов и лантаноидов, например, неодима и др. [1, 2].

Заключение

В исследовании с использованием метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой впервые проведена оценка загрязненности боевой одежды пожарных Федеральной противопожарной службы МЧС России. Проведенный анализ поверхностного загрязнения боевой одежды пожарных методом смывов не дает возможности оценить риски интоксикации организма пожарных и использовать существующие предельно допустимые концентрации по данным токсичным элементам для человека. Однако появление такого загрязнения и, соответственно, накопление «хронической токсичности» при контакте с боевой одеждой может стать фактором ухудшения состояния здоровья пожарных.

Литература

1. Землянова М.А., Пескова Е.В., Кольдибекова Ю.В. [др.]. Биохимические показатели липидного обмена у работников, занятых в производстве продукции из редкоземельных металлов // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 5. С. 433–438. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-433-438.
2. Ластков Д.О., Дубовая А.В., Ежелева М.И., Остренко В.В. Оценка биомаркеров как показателей влияния тяжелых металлов на здоровье взрослого населения // Университ. клиника. 2022. № 3 (44). С. 5–12.
3. Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В. [др.]. Изучение элементного статуса населения различных промышленных районов как индикатора экологического загрязнения [Электронный ресурс] // Агро-ЭкоИнфо. 2023. № 6. Ст. № 4. DOI: 10.51419/202136619.
4. Радыш И.В., Скальный А.В., Нотова С.В. [и др.]. Введение в элементологию: учеб. пособие. Оренбург: Оренбург. гос. ун-т, 2017. 183 с.
5. Рукавишников В.С., Колычева И.В., Лахман О.Л. Современные аспекты сохранения и укрепления здоровья пожарных // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95, № 12. С. 1175–1179. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1175-1179.
6. Шапкина И.А. Физиологическое воздействие тяжелых металлов на организм человека // Инновационная наука. 2023. № 8-2. С. 95–98.
7. Anderson D.A., Harrison T.R., Yang F. [et al.]. Firefighter Perceptions of Cancer Risk: Results of a Qualitative Study // Am. J. Ind. Med. 2017. Vol. 60, N 7. P. 644–650. DOI: 10.1002/ajim.22726.
8. Song G., Wang F. Firefighters' Protective Clothing and Equipment // Mandal S., Camenzind M., Annaheim S., Rossi R.M. Firefighter's Clothing and Equipment: Performance, Protection, and Comfort. London : New York CRC Press [et al.], 2019. P. 26–60.
9. Szmytko E., Brzezinska D., Machnowski W., Kokot S. Firefighters' Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules—Literature Review and Pilot Tests Results // Int. J. Environment Reseach Public Health. 2022. N 19. 12442. DOI: 10.3390/ijerph191912442.

Поступила 11.11.2025 г.

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

Участие авторов: М.В. Яковлева — дизайн исследования, аналитическое обобщение материала, подготовка первого варианта статьи; М.А. Власенко — сбор первичных данных, их анализ и интерпретация; В.Ю. Рыбников — концепция исследования, редактирование окончательного варианта статьи; М.В. Санников — аналитическое обобщение материала, редактирование окончательного варианта статьи; Т.И. Шевченко — сбор первичных данных, перевод аннотации и списка литературы на английский язык.

Для цитирования. Яковлева М.В., Власенко М.А., Рыбников В.Ю., Санников М.В., Шевченко Т.И. Содержание токсичных веществ на боевой одежде пожарных Федеральной противопожарной службы МЧС России после пожаров // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2025. № 4. С. 105–113. DOI: 10.25016/2541-7487-2025-0-4-105-113.

Post-fire levels of toxic residues detected on flame resistant clothing worn by the firefighters of the Federal Fire Service of the EMERCOM of Russia

Yakovleva M.V., Vlasenko M.A., Rybnikov V.Yu., Sannikov M.V., Shevchenko T.I.

Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia
(4/2, Academica Lebedeva Str., Saint Petersburg, 199044, Russia)

✉ Maria Vladimirovna Yakovleva – PhD Biol. Sci., Leading Researcher, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 199044, Russia), ORCID: 0000-0002-9709-8299, e-mail: iakorobok@mail.ru;

Maria Alexandrovna Vlasenko – PhD Biol. Sci., Senior Researcher, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 199044, Russia), ORCID: 0000-0003-2836-6891, e-mail: vlasenkomaria@gmail.com;

Viktor Yuryevich Rybnikov – Dr. Med. Sci., Dr. Psychol. Sci. Prof., Deputy Director of Scientific, Educational work, disaster medicine, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, Russia, 190444), ORCID: 0000-0001-5527-9342, email: rvikirina@mail.ru;

Maxim Valerievich Sannikov – PhD Med. Sci., Leading Researcher, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 199044, Russia), ORCID: 0000-0003-3969-9501, e-mail: smakv@mail.ru;

Tatiana Ivanovna Shevchenko – PhD Psychol. Sci., Senior Researcher, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 199044, Russia), ORCID: 0009-0002-7401-4440, e-mail: vektor-v@yandex.ru

Abstract

Relevance. The importance of health preservation among the Federal Fire Service (FPS) employees of the EMERCOM of Russia requires monitoring and analysis of potentially dangerous toxic combustion residues deposited on flame resistant clothing. The analysis of toxic residue levels and clothing decontamination efficiency with a focus on specific occupational parameters allows to implement relevant improvements and eliminate potential hazardous impact of combustion products on firefighters' health.

The objective is to study various combustion residue chemicals detected on flame resistant clothing worn by firefighters, as well as to validate current washing procedure.

Methods. The obtained 200 samples were analyzed to assess the contamination of flame resistant clothing worn by the FFS firefighters of the EMERCOM of Russia and St. Petersburg rescue units during firefighting operations. Swabs were used to test for the presence of various residue chemicals on firefighter clothing; validation was tailored to the research objectives. The obtained swab samples allowed to detect 59 chemicals using inductively coupled plasma mass spectrometry. The control group included brand new sets of clothing never exposed to toxic combustion products. The results were checked for the normality of distribution for every feature. The text presents the medians, upper and lower quartiles (Me [q1; q3]). The similarities (differences) were calculated using the Mann–Whitney U-test and Kruskal–Wallis test.

Results and analysis. The analyzed swabs obtained from firefighters' clothing were divided into groups, depending on the cleaning procedure (hand and machine washing) and the frequency of form treatment (after each shift, once a month, or not treated). The study revealed significantly elevated ($p < 0.05$) levels of aluminum, cadmium, arsenic, tin, antimony, lead, chromium, zinc, nickel, copper, beryllium, cobalt, rubidium, molybdenum, cesium, lanthanum, cerium, neodymium, tungsten, dysprosium, scandium, gallium, yttrium, terbium. No significant differences were observed between different treatment procedures and cleaning frequencies.

Conclusion. The study of toxic combustion residue chemicals on the surface of flame resistant clothing worn by firefighters on duty confirmed the inefficiency of the current cleaning methods no matter how frequently they are performed; the findings provide evidence of persistent contamination of clothing surface with toxic chemicals.

Keywords: flame resistant clothing, toxic chemicals, fire, combustion products, inductively coupled plasma mass spectrometry.

References

1. Zemlyanova M.A., Peskova E.V., Kol'dibekova Yu.V. [et al.]. Biokhimicheskie pokazateli lipidnogo obmena u rabotnikov, zanyatykh v proizvodstve produktsii iz redkozemel'nykh metallov [Biochemical indicators of the lipid metabolism in workers involved in the processing of raw materials and production of rare metal products]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation, Russian journal]. 2023; 102;(5):433–438. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-433-438. (In Russ.)
2. Lastkov D.O., Dubovaya A.V., Ezheleva M.I., Ostrenko V.V. Otsenka biomarkerov kak pokazatelei vliyaniya tyazhelykh metallov na zdorov'e vzroslogo naseleniya [Assessment of biomarkers as indicators of heavy metals' influence on the health of the adult population]. *Universitetskaya nauka* [Universiti clinic]. 2022; (3):5–12. (In Russ.)
3. Pobilat A.E., Kirichuk A.A., Baranova O.V. [et al.]. Izucheniye elementnogo statusa naseleniya razlichnykh promyshlennykh raionov kak indikatora ekologicheskogo zagryazneniya [The study of the elemental status of the population of various industrial areas as an indicator of environmental pollution]. *AgroEkoInfo* [AgroEcoInfo]. 2023; (6):Art.4. DOI: 10.51419/202136619. (In Russ.)
4. Radysh I.V., Skal'nyi A.V., Notova S.V. [et al.]. Vvedeniye v elementologiyu [Introduction to Elementology]. Orenburg. 2017. 183 p. (In Russ.)

5. Rukavishnikov V.S., Kolycheva I.V., Lakhman O.L. Sovremennye aspekty sokhraneniya i ukrepleniya zdorov'ya pozharnykh [Modern aspects of the conservation and promotion of health of firefighters]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation, Russian journal]. 2016; 95(12):1175–1179. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-12-1175-1179. (In Russ.)
6. Shapkina I.A. Fiziologicheskoe vozdeistvie tyazhelykh metallov na organizm cheloveka [Physiological effects of heavy metals on the human body]. *Innovatsionnaya nauka* [innovacionnaya Nauka, Russian journal]. 2023; (8-2):95–98. (In Russ.)
7. Anderson D.A., Harrison T.R., Yang F. [et al.]. Firefighter Perceptions of Cancer Risk: Results of a Qualitative Study. *Am. J. Ind. Med.* 2017; 60(7):644–650. DOI: 10.1002/ajim.22726.
8. Song G., Wang F. Firefighters' Protective Clothing and Equipment. In Mandal S., Camenzind M., Annaheim S., Rossi R.M. Firefighter's Clothing and Equipment: Performance, Protection, and Comfort. London : New York CRC Press [et al.]. 2019. P. 26–60.
9. Szmytko E., Brzezinska D., Machnowski W., Kokot S. Firefighters' Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules—Literature Review and Pilot Tests Results. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; (19):12442. DOI: 10.3390/ijerph191912442.

Received 11.11.2025

For citing: Yakovleva M.V., Vlasenko M.A., Rybnikov V.Yu., Sannikov M.V., Shevchenko T.I. Soderzhanie toksichnykh veshchestv na boevoy odezhde pozharnykh Federal'noy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii posle pozharov. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2025; (4):105–113. (In Russ.)

Yakovleva M.V., Vlasenko M.A., Rybnikov V.Yu., Sannikov M.V., Shevchenko T.I. Post-fire levels of toxic residues detected on flame resistant clothing worn by the firefighters of the Federal Fire Service of the EMERCOM of Russia. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2025; (4):105–113. DOI: 10.25016/2541-7487-2025-0-4-105-113.