

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-8-494-501>

УДК 613.6: 614.84

© Коллектив авторов, 2020

Крийт В.Е.¹, Сладкова Ю.Н.¹, Санников М.В.², Пятибрат А.О.²**Гигиенические аспекты трудовой деятельности пожарных**¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 4, 2-я Советская ул., Санкт-Петербург, Россия, 191036;²ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина» МЧС России, ул. Академика Лебедева, 4/2, Санкт-Петербург, Россия, 194044

Введение. Трудовая деятельность пожарных характеризуется экстремальными условиями труда и сопровождается комплексным воздействием вредных и опасных факторов производственной среды, включающего физические, химические, биологические и психофизиологические факторы, а также опасных факторов пожара и их сопутствующих проявлений. Химический фактор является одним из ведущих и представляет значительную опасность для здоровья и жизни пожарных. В настоящее время при строительстве применяется большое количество синтетических полимерных материалов, при горении и термическом разложении которых в воздушную среду выделяется широкий спектр химических веществ, в том числе суперэкоксиканты диоксины, обладающие кумулятивным эффектом.

Цель исследования — гигиеническая оценка загрязнения воздушной среды в зоне пожаров основными вредными веществами, в определении диоксинов в воздухе и в крови пожарных с различным стажем работы.

Материалы и методы. Проведены исследования воздуха на содержание 7 загрязняющих веществ на разных этапах устранения 56 пожаров различной локализации с применением классических и экспресс-методов определения. Для оценки влияния вредных химических факторов на организм пожарных были обследованы 350 человек с различным стажем профессиональной деятельности, занимающихся непосредственно пожаротушением и проводящих инспекцию в рамках расследования на местах пожаров. В качестве контрольной группы были обследованы 82 спасателя.

Результаты. Через сутки после ликвидации пожара концентрации большинства токсичных продуктов горения снижались до уровней, близких к их ПДК, за исключением диоксинов, высокие концентрации которых в приземном воздухе на месте пожара сохранялись более двух недель. Высокие концентрации диоксинов в плазме крови получены как в группе пожарных, участвующих непосредственно в пожаротушении, так и в группе проводящих инспекцию на месте пожара. Анализ полученных данных показал значимое увеличение концентрации диоксинов в крови с увеличением стажа работы.

Выводы. Несмотря на то, что основным путем поступления диоксинов в организм человека считается алиментарный, для пожарных, выполняющих работу при их высоких концентрациях в воздухе, респираторный путь поступления приобретает весомое значение.

Ключевые слова: пожарные; пожаротушение; воздух рабочей зоны; загрязняющие вещества; диоксины; ПХДД/ПХДФ

Для цитирования: Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Санников М.В., Пятибрат А.О. Гигиенические аспекты трудовой деятельности пожарных. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(8). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-8-494-501>

Для корреспонденции: Крийт Владимир Евгеньевич, рук. отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», канд. хим. наук. E-mail: kriyt@s-znc.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 15.05.2020 / Дата принятия к печати: 02.07.2020 / Дата публикации: 31.08.2020

Vladimir E. Kriyt¹, Yuliya N. Sladkova¹, Maksim V. Sannikov², Aleksandr O. Pyatibrat²**Hygienic aspects of firefighters' labour activity**¹North-West Public Health Research Center, 4, 2-ya Sovetskaya Str., St. Petersburg, Russia, 191036;²Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, 4/2, Akademika Lebedeva Str., St. Petersburg, Russia, 194044

Introduction. Firefighters' labor activity characterized by extreme working conditions and the complex impact of harmful and dangerous factors of the working environment, including physical, chemical, biological, and psychophysiological factors, as well as hazardous fire factors and their associated manifestations. The chemical factor is one of the leading hazard factors and poses a significant danger to the life and health of firefighters. Currently, plenty of synthetic polymeric materials are used in construction. During their combustion and thermal decomposition into the air, a wide range of chemicals are released, including superecotoxicants dioxins, which have a cumulative effect.

The aim of the study is to provide a hygienic assessment of air pollution with the main harmful substances in the fire zone, to determine dioxins in the air and in the blood of firefighters with different work experience.

Materials and methods. Study of the working area air for the content of 7 pollutants carried out by classical and express methods at different stages of eliminating 56 fires of various localization. There were 350 people with various experience of professional activity, directly involved in fire extinguishing and conducting inspections (as part of an investigation at the fire sites). They were examined to assess the influence of harmful chemical factors on the firefighters' body. As a control group, 82 rescuers examined.

Results. A day after extinguishing a fire, the concentrations of most toxic combustion products decreased to levels close to MPC. The exception was dioxins, which high concentrations in the surface air at the fire site persisted for more than two weeks. High concentrations of dioxins in blood plasma found both in the group of firefighters directly involved in firefighting and the group conducting inspections at the fire site. Analysis of the data showed a significant increase in the concentration of dioxins in the blood with an increase in the length of work experience.

Conclusions. Although the main path of entry of dioxins into the human body considered to be alimentary, for firefighters who perform work at their high concentrations in the air, the respiratory route of intake becomes significant.

Keywords: firefighters; firefighting; work area air; pollutants; dioxins; PCDD/PCDF

For citation: Kriyt V.E., Sladkova Yu. N., Sannikov M.V., Pyatibrat A.O. Hygienic aspects of firefighters' labour activity. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(8). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-8-494-501>

For correspondence: Vladimir E. Kriyt, Department of complex hygienic assessment of physical factors of North-West Public Health Research Center, Cand. of Sci. (Chem). E-mail: kriyt@s-znc.ru

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Information about authors: Kriyt V.E. 0000-0002-1530-4598, Sladkova Yu.N., 0000-0003-1745-2663, Sannikov M.V., 0000-0003-3969-9501, Pyatibrat A.O., 0000-0001-6285-1132

Received: 15.05.2020 / Accepted: 02.07.2020 / Published: 31.08.2020

Введение. При пожаротушении и ликвидации аварий на организм пожарных воздействует комплекс вредных и опасных факторов, о чем свидетельствуют данные, представленные Международной ассоциацией пожарных (IFFA) [1]. Трудовая деятельность пожарных осуществляется в сложнейших условиях и сопровождается реальной угрозой для их здоровья и жизни [2,3]. Профессия характеризуется экстремальными условиями труда, сопряжена с воздействием опасных и вредных факторов, которые подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические в соответствии с ГОСТ 12.0.003–2015¹. При пожарах величины параметров вредных и опасных факторов многократно превышают нормативные уровни и их снижение практически невозможно [4].

К опасным факторам пожара, воздействие которых приводит к травмам, отравлениям или гибели людей, а также к материальному ущербу, в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ² относятся пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, а также снижение видимости в дыму. Критерием оценки в соответствии с ГОСТ 12.1.004–91³ является предельно допустимое значение опасного фактора пожара, при котором воздействие на человека в течение критической продолжительности пожара не приводит к травме, заболеванию или отклонению в состоянии здоровья в течение нормативно установленного времени. Так, в качестве предельно допустимого значения для таких опасных факторов пожара, как пониженное содержание кислорода и тепловой поток, приняты значения 0,226 кг/м³ и 1400 Вт/м² соответственно. Для сравнения, согласно СанПиН 2.2.4.3359–16⁴, который не распространяется на условия выполнения аварийно-спасательных работ или боевых задач, допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от источников из-

Introduction. During firefighting and elimination of accidents, a complex of harmful and dangerous factors affects the body of firefighters. It is evidenced by the data presented by the International Firefighters Association (IFFA) [1]. Firefighters' labor activity is carried out in the most difficult conditions and accompanied by a real threat to their health and life [2,3]. The profession is characterized by extreme working conditions, associated with exposure to hazardous and harmful factors, subdivided into physical, chemical, biological, and psychophysiological in accordance with GOST 12.0.003–2015¹. In the case of fires, the values of the parameters of harmful and hazardous factors are many times higher than the standard levels and their reduction is almost impossible [4].

Dangerous fire factors lead to injuries, poisoning or death of people and material damage. They include flames and sparks, heat flux, increased ambient temperature, increased concentration toxic products of combustion and thermal decomposition, reduced oxygen concentration, and reduced visibility in smoke according to Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008². The assessment criterion (according to GOST 12.1.004–91³) is the maximum permissible value of the hazardous fire factor, at which exposure to a person during the critical duration of the fire does not lead to injury, illness, or deviation in the state of health within the normatively established time. Thus, the values 0.226 kg/m³ and 1400 W/m², respectively, are taken as the maximum permissible value for such dangerous fire factors as low oxygen content and heat flux. According to SanPiN 2.2.4.3359–16⁴ (which does not apply to the conditions for performing emergency rescue operations or combat missions) the permissible values of the thermal irradiation intensity of the body surface from radiation sources heated to a temperature of more than 600 °C (hot or molten metal, glass, flame) must not exceed 140 W/m².

Toxic combustion products are one of the most dangerous hazards. Currently, an increasing number of polymer and

¹ ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

² Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

³ ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

⁴ СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

¹ GOST 12.0.003–2015 "Dangerous and harmful production factors. Classification».

² Federal Law of 22.07.2008 No. 123-FZ «Technical Regulations on Fire Safety Requirements».

³ GOST 12.1.004–91 "Fire safety. General requirements".

⁴ SanPiN 2.2.4.3359–16 «Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace.»

лучения, нагретых до температуры более 600 °C (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя), не должны превышать 140 Вт/м².

Одну из самых серьезных опасностей представляют токсичные продукты горения. В настоящее время при строительстве используется все большее количество полимерных и полимерсодержащих строительных и отделочных материалов и конструкций, при горении которых выделяется большое количество загрязняющих веществ, качественные и количественные характеристики которых в момент пожара трудно определимы. По отдельным данным в продуктах горения содержится до 100 видов химических соединений. В комплекс химических веществ, концентрации которых в 60–100% случаев превышают предельно допустимую концентрацию (ПДК), входят бензол, винилхлорид, азота оксид, серы диоксид, цианистый водород (гидроцианид), хлороформ, хлороводород (гидрохлорид), углерода оксид, формальдегид [1]. Наиболее опасными компонентами являются: оксид углерода, формальдегид, диоксид азота, бензол и толуол, обладающие эффектом суммации [5].

Особую опасность представляют низкотемпературные пожары (до 600 °C), при которых в воздух выделяется наиболее широкий спектр химических веществ, в том числе и особо токсичные — диоксины и диоксиноподобные соединения, токсичные в любых концентрациях и вызывающие отсроченные эффекты [6–9]. В отличие от других профессий пожарные подвергаются воздействию диоксинов в составе сложного комплекса токсических веществ [10].

Тем не менее, из-за отсутствия службы профессиональной патологии в системе ГПС МЧС России и ведомственных списков профессиональных заболеваний, профессиональные заболевания у пожарных практически не регистрируются, в то время как острые интоксикации довольно часто определяются при обращениях данного контингента в лечебно-профилактические учреждения. Наиболее остро стоит вопрос об оценке хронических интоксикаций, например, диоксиноподобными веществами, обладающими кумулятивным эффектом. Содержание диоксинов в крови человека зависит от множества факторов, одним из которых является профессиональная деятельность [11,12]. В связи с этим исследование, направленное на оценку концентрации диоксинов в приземном воздухе на пожарах и периферической крови пожарных, является безусловно актуальным.

Цель исследования — гигиеническая оценка загрязнения воздушной среды в зоне пожаров основными вредными веществами, в определении диоксинов в воздухе и в крови пожарных с различным стажем работы.

Материалы и методы. Проведен отбор и анализ разовых проб воздуха на разных этапах ликвидации пожаров различной локализации как с использованием экспресс-методов с применением переносных газоанализаторов, включенных в реестр средств измерений ФГИС «Аршин», так и классическими методами с применением приборов Рихтера, сорбционных трубок.

В лабораторных условиях анализ отобранных проб воздуха проводился с помощью последовательного использования методов газовой хроматографии (газохроматографическое разделение) и количественной масс-спектрометрии (ГХ-МС) путем подсоединения разделительной колонки хроматографа к ионному источнику масс-спектрометра.

Для оценки влияния вредных химических факторов на организм пожарных были обследованы 350 человек с различным стажем профессиональной деятельности, проходивших диспансеризацию в ФГБУ «ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова» МЧС России, из них 234 человека занимались непосредствен-

polymer-containing building and finishing materials and structures used in construction, the combustion of which releases a large number of pollutants, the qualitative and quantitative characteristics of which are difficult to determine at the time of the fire. According to some data, combustion products contain up to 100 types of chemical compounds. The complex of chemicals, which concentrations in 60–100% of cases exceed the maximum permissible concentration (MPC), including benzene, vinyl chloride, nitrogen oxide, sulfur dioxide, hydrogen cyanide (hydrocyanide), chloroform, hydrogen chloride (hydrochloride), carbon oxide, formaldehyde [1]. The most dangerous components are carbon monoxide, formaldehyde, nitrogen dioxide, benzene, and toluene, which have a summation effect [5].

During low-temperature fires (up to 600 °C) that are especially dangerous, there is a wide range of chemicals released into the air, including especially toxic ones — dioxins and dioxin-like compounds, toxic in any concentration and causing delayed effects [6–9]. Unlike other professions, firefighters exposed to dioxins as part of a complex of toxic substances [10].

However, due to the absence of an occupational pathology service in the State Fire Service of the Russian Emergencies Ministry and departmental lists of occupational diseases, occupational diseases in firefighters are practically not registered. Acute intoxication is often determined when this contingent applies to medical and preventive institutions. The most problematic issue is the assessment of chronic intoxications (for example, dioxin-like substances) with a cumulative effect. The content of dioxins in human blood depends on many factors, one of which is an occupational activity [11,12]. In this regard, a study aimed at assessing the concentration of dioxins in the surface air in fires and the peripheral blood of firefighters is highly relevant.

The aim of the study is to provide a hygienic assessment of air pollution with the main harmful substances in the fire zone, to determine dioxins in the air and in the blood of firefighters with different work experience.

Materials and methods. The selection and analysis of one-time air samples at different stages of elimination of various localization fires carried out by express-methods with portable gas analyzers included in the register of measuring instruments of Federal State Information System “ARSHIN” and by classical methods applying Richter’s devices, sorption tubes.

Under laboratory conditions, the analysis of the air samples carried out with the sequential applying of gas chromatography (gas chromatographic separation) and quantitative mass spectrometry methods (GC-MS) by connecting the separation column of the chromatograph to the ion source of the mass spectrometer.

To assess the influence of harmful chemical factors on the body of firefighters, 350 people (who underwent a medical examination at the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine) with various experiences of occupational activity examined. Of this, 234 people were directly involved in firefighting, 116 carried out inspections as part of an investigation at the fire sites. As a control group, 82 rescuers examined. In the group of firefighters involved in firefighting, 76 people with 1-year work experience (32.5%), 96 people with 5-year work experience (41%), and 62 people with 6 to 10 years of work experience (26.5%) examined. In the group of specialists inspecting part of the investigation, 23 (20%), 51 (44%) and 42 (36%) people were examined, respectively, in the control group — 27 (33%), 34 (41%) and 21 (26%) people. The average age of the surveyed was 32.2±9.5 years.

Таблица 1 / Table 1

Результаты исследований воздушной среды при пожарах по отдельным химическим веществам, мг/м³
Results of studying working area air during fires for individual chemicals, mg/m³

Объект	Средние концентрации химических веществ, мг/м ³						
	CO	CO ₂	HCl	HCN	N _x O _x	SO ₂	Диоксины
Во время пожара							
Промышленные предприятия	15292,4 ± 42,6	(1,2±0,3)× 10 ⁵	65,7±2,6	9,4±0,6	28,4±1,6	316,7±11,2	(3,2±0,9)× 10 ⁻⁵
Бытовые постройки и жилые дома	15376,7 ± 34,9	(1,7±0,2)× 10 ⁵	65,7±2,6	2,6±0,4	122,2±1,2	734,5±4,3	(9,7±0,7)× 10 ⁻⁵
Сельскохозяйственные объекты	1254,5 ± 46,1	(1,1±0,6)× 10 ⁵	12,4±1,8	1,2±0,5	78,3±0,4	291,5±2,4	(16,4±1,2)× 10 ⁻⁶
Лесные объекты	13468,3 ± 28,9	(1,7±0,7)× 10 ⁵	9,2±0,4	0,8±0,1	43,6±0,7	189,2±8,3	(11,2±0,7)× 10 ⁻⁶
В первые сутки после пожара							
Промышленные предприятия	31,2±0,5	–	10,2±0,6	0,8±0,2	5,4±0,2	24,3±1,4	(7,6±0,8)× 10 ⁻⁹
Бытовые постройки и жилые дома	24,5±0,3	–	8,5±0,3	0,6±0,1	6,2±0,3	17,5±0,5	(3,4±0,7)× 10 ⁻⁹
Сельскохозяйственные объекты	16,7±0,4	–	7,2±0,4	0,4±0,1	2,2±0,2	14,5±0,6	(9,4±1,2)× 10 ⁻¹⁰
Лесные объекты	14,4±0,8	–	6,3±0,5	0,3±0,1	3,1±0,1	9,5±0,4	(7,2±0,7)× 10 ⁻¹⁰
Максимально разовая ПДК, мг/м ³	20*	27000	5	0,3	5**	10	–

Примечания: * при длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч ПДК оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м³, при длительности работы не более 30 мин — до 100 мг/м³, при длительности работы не более 15 мин — 200 мг/м³. Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2 ч.; ** оксиды азота в пересчете на NO₂.

Notes: * with a duration of operation in an atmosphere containing carbon monoxide no more than 1 hour, the MPC for carbon monoxide can be increased to 50 mg/m³, with a duration of operation no more than 30 minutes — up to 100 mg/m³, with a duration of operation no more than 15 minutes — 200 mg/m³. Repeated work under conditions of an increased content of carbon monoxide in the air of the working area can be carried out with a break of at least 2 hours; ** nitrogen oxides in terms of NO₂.

но пожаротушением, 116 — проводили инспекции в рамках расследования на местах пожаров. В качестве контрольной группы были обследованы 82 спасателя. В группе пожарных, участвующих в пожаротушении, были обследованы 76 человек со стажем работы 1 год (32,5 %), 96 человек — со стажем работы 5 лет (41%) и 62 человека — со стажем работы от 6 до 10 лет (26,5%). В группе специалистов, проводящих инспекцию в рамках расследования, были обследованы, соответственно 23 (20%), 51 (44%) и 42 (36%) человека, в контрольной группе — 27 (33%), 34 (41%) и 21 (26%) человека. Средний возраст обследованных составил 32,2±9,5 года.

Обсуждение. На первом этапе работы для определения и оценки концентраций токсичных продуктов горения осуществлялся отбор приземного атмосферного воздуха на разных этапах ликвидации 56 пожаров различной локализации: на промышленных, жилых, сельскохозяйственных и лесных объектах. Результаты проведенных исследований на примере 7 основных загрязняющих веществ, сопоставленные с гигиеническими нормативами ГН 2.2.5.3532–18⁵, представлены в таблице 1.

Полученные данные свидетельствуют о многократном превышении ПДК всех представленных загрязняющих веществ во время пожара. Наибольшие концентрации наблюдаются при пожарах на промышленных предприятиях и в жилых домах, что может быть обусловлено горением полимерных материалов. Максимальные превышения получены

⁵ ГН 2.2.5.3532–18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

Discussion. At the first stage of the work, to determine and evaluate the concentrations of toxic combustion products, surface atmospheric air was sampled at different stages of liquidating 56 fires that had various localization: at industrial, residential, agricultural and forest facilities. The results of the studies carried out on the example of 7 base pollutants compared with the hygienic standards GN 2.2.5.3532–18⁵, are presented in table 1.

The data obtained indicate multifold excesses of the MPC of all the presented pollutants during a fire. The highest concentrations observed during fires at industrial enterprises and in residential buildings, which may be due to the combustion of polymer materials.

The maximum excesses obtained for the following substances: carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides, and hydrocyanide. A day after extinguishing a fire, the concentrations of most toxic combustion products decreased to a level close to the MPC.

For three of the determined pollutants, the maximum permissible values of hazardous fire factors adopted: carbon dioxide CO₂ (carbon dioxide) — 0.11 kg/m³; carbon monoxide CO (carbon monoxide) — 1.16×10⁻³ kg/m³; hydrogen chloride HCl — 23×10⁻⁶ kg/m³ (Order of the Ministry of

⁵ GN 2.2.5.3532–18 “Maximum permissible concentration (MPC) harmful substances in the air of the working area”.

Приземная концентрация (пг/м³) диоксинов, TEQ — Toxic Equivalency Quantity ($M \pm m$)
Surface concentration (pg/m³) of dioxins, TEQ — Toxic Equivalency Quantity ($M \pm m$)

Период отбора	Концентрации, пг/м ³			
	ТХДД	ПХДД	ПХДФ	ПХБ
В первые сутки после пожара	3,6±0,3	3,2±0,4	2,8±0,3	3,1±0,2
Через 2 недели после пожара	2,4±0,3	2,3±0,2	2,5±0,3	2,6±0,2

Примечания: ТХДД — тетрахлордibenзо-пара-диоксин, ПХДД — полихлорированные дибензодиоксины, ПХДФ — полихлорированные дибензофураны, ПХБ — полихлорированные бифенилы.

Notes: TCDD — tetrachlorodibenzo-para-dioxin, PCDD — polychlorinated dibenzodioxins, PCDF — polychlorinated dibenzofurans, PCB — polychlorinated biphenyls.

по таким веществам, как оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота и гидроцианиды. Через сутки после ликвидации пожара концентрации большинства токсичных продуктов горения снижались до уровня, близкого к ПДК.

Для трех из определяемых загрязняющих веществ в нашей стране приняты ПДК опасных факторов пожара: диоксид углерода CO₂ (углекислый газ) — 0,11 кг/м³; монооксид углерода CO (угарный газ) — 1,16×10⁻³ кг/м³; хлороводород HCl — 2,3×10⁻⁶ кг/м³ (Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 № 382⁶, ГОСТ 12.1.004–91⁷).

Несмотря на то, что концентрации диоксинов в течение суток после пожаров в приземном атмосферном воздухе значительно снижались, они оставались на высоком уровне. Концентрации ряда конгенов диоксинов в приземном воздухе на месте пожара определяли в динамике двух недель. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Полученные данные свидетельствуют о том, что высокие концентрации диоксинов в приземном воздухе на месте пожара сохраняются более двух недель.

К сожалению, в России отсутствует нормирование диоксинов в воздухе рабочей зоны [13]. Полученные результаты можно сопоставить с Европейскими нормами для воздуха рабочей зоны — 0,1 нг/м³. Аналогичные жесткие нормативные требования установлены для воздушных выбросов в дымовых газах — на уровне 0,1 нг ТЭ/Нм³ при 11% O₂⁸. В методических рекомендациях МР 2.2.9.0056–11⁹ предложена предельная норма профессионального воздействия ТХДД, равная 200 пг/м³ воздуха рабочей зоны с временной нагрузкой в 8 часов.

К числу диоксинов и фуранов в соответствии с ГН 2.1.6.014–94¹⁰ относят две большие группы полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ) с различным числом и расположением атомов изомера хлора. Всего известно 210 наименований ПХДД/ПХДФ (75/135 конгенов), встречающихся обычно в смесях и обладающих свойствами стойких, липотропных и практически нерастворимых в воде веществ. Мониторингу подлежат только 17 из них, которые отличает 2,3,7,8-положение атомов хлора и очень

Emergency Situations of the Russian Federation dated June 30, 2009 No. 382⁶, GOST 12.1.004–91⁷).

Although the concentration of dioxins in the surface air during the day after the fires decreased significantly, they remained at a high level. The concentrations of dioxin congeners in the surface air at the fire site determined in the dynamics of two weeks. The analysis results presented in table 2.

The data obtained indicate that high concentrations of dioxins in the surface air at the fire site persist for more than two weeks.

Unfortunately, in Russia, there is no standardization of dioxins in the air of the working area [13]. The results obtained can be compared with the European standards for air in the working area — 0.1 ng/m³. Similar stringent regulatory requirements set for air emissions in flue gases — 0.1 ng TEQ/Nm³ at 11% O₂⁸. In the guidelines MR 2.2.9.0056–11⁹, maximum occupational exposure to tetrachlorodibenzo-para-dioxin (TCDD) proposed, equal to 200 pg/m³ of air in the working area with a temporary load of 8 hours.

According to GN 2.1.6.014–94¹⁰, dioxins and furans include two large groups of polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) with a different number and arrangement of chlorine isomer atoms. There are 210 known names of PCDDs / PCDFs (75/135 congeners) that usually found in mixtures and have the properties of persistent, lipotropic, and practically water-insoluble substances. Only 17 of them are subject to monitoring, which is distinguished by the 2,3,7,8-position of chlorine atoms and extremely high toxicity [14,15]. Mixtures of congeners often assessed by a single estimate called toxic equivalent. To determine the equivalent, the mass concentration in the compound calculated for each congener, multiplied by the assigned toxic equivalent factor (TEF), and the results summed up.

The most dangerous, the most famous and studied, to which the term “dioxin” is applied, is 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-para-dioxin (2,3,7,8-TCDD).

The average daily MPC of dioxins (in terms of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo–1,4-dioxin) in the atmospheric air of urban and rural settlements approved in the Russian Federation is

⁶ Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

⁷ ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

⁸ Методическое руководство по выявлению и количественной оценке выбросов диоксинов, фуранов и других непреднамеренно образуемых СОЗ согласно Статье 5 Стокгольмской Конвенции, январь 2013 г.

⁹ МР 2.2.9.0056-11 «Меры профилактики на диоксиноопасных производствах».

¹⁰ ГН 2.1.6.014-94 «Предельно допустимая концентрация (ПДК) полихлорированных дибензодиоксинов и полихлорированных дибензофуранов в атмосферном воздухе населенных мест».

⁶ Order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation of June 30, 2009 No. 382 «On the approval of the determination of the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard».

⁷ GOST 12.1.004-91 “Fire safety. General requirements».

⁸ Methodological guidance for identifying and quantifying emissions of dioxins, furans and other unintentionally generated POPs under Article 5 of the Stockholm Convention, January 2013

⁹ МР 2.2.9.0056-11 «Preventive measures at dioxin-hazardous industries».

¹⁰ GN 2.1.6.014-94 «Maximum permissible concentration (MPC) of polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated dibenzofurans in the air of populated areas.»

высокая токсичность [14,15]. Смеси конгенеров часто оценивают единым оценочным показателем, называемым токсическим эквивалентом, для определения которого в смеси определяется величина массовой концентрации по каждому конгенеру, умножается на приписанный токсический эквивалентный фактор (ТЭФ) и результаты суммируются.

Самым опасным, изученным и наиболее известным по отношению к которому применяется термин «диоксин», является 2,3,7,8-тетрахлордибензо-пара-диоксин (2,3,7,8-ТХДД).

Утвержденная в РФ среднесуточная ПДК диоксинов (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин) в атмосферном воздухе городских и сельских поселений — 0,5 пг/м³ (другие диоксины и дибензофураны — в единицах М-ТЭФ)¹¹ относится ко всем соединениям этих групп, имеющих сходные физико-химические свойства и механизмы биологического действия.

Часто в понятие «диоксины» включают диоксиноподобные полихлорированные бифенилы (ПХБ), молекулы которых могут принимать планарную конфигурацию, аналогичную ПХДД/ПХДФ (12 конгенеров). В соответствии с Приказом Госкомэкологии России¹² из четырех выделенных групп ПХБ, первая включает непосредственно токсичные ПХБ (стереоаналоги 2,3,7,8-ТХДД). В отличие от диоксинов, в России ПХБ не имеют нормирования в атмос-

0.5pg / m³ (other dioxins and dibenzofurans — in units of M-TEF¹¹). It refers to all compounds of these groups with similar physicochemical properties and mechanisms of biological action.

Dioxins often include dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs), which molecules can assume a planar configuration like PCDD / PCDF (12 congeners). Per the Order of the State Committee for Ecology of Russia¹², of the four distinguished groups of PCBs, the first includes directly toxic PCBs (stereo analogs 2,3,7,8-TCDD). Unlike dioxins, in Russia, PCBs do not have any standardization in the atmospheric air of urban and rural settlements. In the work area air, it is possible to apply the standard for the number of PCBs — 1.0 mg/m³, according to GOST 12.1.005–88.¹³

The sources of dioxins entering the human body are food (up to 95%), air (3.5%), soil (1.3%), water (0.001%). Dioxins slowly eliminated from the body (their half-life is 10 years or more), have a general toxic and cytotoxic effect, disrupt the activity of the endocrine system, provoke diseases of the skin, blood, and hematopoietic system, increase biological age, susceptibility to infections, cause long-term effects associated with immunosuppressive, mutagenic, teratogenic, embryotoxic and carcinogenic properties [16].

¹¹ ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений».

¹² Приказ Госкомэкологии России от 13.04.1999 г. № 165 «О Рекомендациях для целей инвентаризации на территории Российской Федерации производств, оборудования, материалов, использующих или содержащих ПХБ, а также ПХБ-содержащих отходов».

¹¹ 11 GN 2.1.6.3492-17 «Maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the air of urban and rural settlements.»

¹² Order of the State Committee for Ecology of Russia dated April 13, 1999, No. 165 «On Recommendations for the Inventory Purposes of Production, Equipment, Materials Using or Containing PCBs, and PCB-Containing Wastes in the Russian Federation.»

¹³ GN 2.1.6.3492-17 «Maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the air of urban and rural settlements.»

Таблица 3 / Table 3

Сравнительная характеристика содержания диоксинов и ПХБ в крови пожарных и контрольной группы, пг/г липидов ($M \pm m$)

Comparative characteristics of the content of dioxins and PCBs in the firefighters and the control group blood, pg/g lipids ($M \pm m$)

Химическое соединение	Концентрация (в группах сравнения), пг/г липидов		
	Контроль	Пожаротушение	Инспекция
ПХДД	124,2±2,4	731,4± 7,8*	659,2±8,1*
ПХДФ	83,2±3,7	634,2± 6,9*	526,3± 7,4*
ПХБ	26,2±2,9	61,6±5,1*	52,4±4,3*
Содержание диоксинов, фуранов и диоксиноподобных ПХБ, WHO _{PCDD/F,PCB} -TEQ	32,7±2,1	536,8±6,1*	486,6±7,3*

Примечания: * различие относительно группы контроля, $p < 0,05$; WHO_{PCDD/F,PCB}-TEQ — сумма диоксинов и диоксиноподобных ПХБ (сумма полихлорированных дибензо-п-диоксинов (ПХДД), полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ) и полихлорированных бифенилов (ПХБ), выраженная в токсическом эквиваленте Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) с использованием токсических эквивалентов (toxic equivalency factors, 2005)).

Notes: * difference relative to the control group, $p < 0,05$; WHO_{PCDD/F,PCB} TEQ — the sum of dioxins and dioxin-like PCBs (the sum of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD), polychlorinated dibenzofurans (PCDF) and polychlorinated biphenyls (PCB), expressed in the toxic equivalent of WHO using the toxic equivalency factors (2005)).

Таблица 4 / Table 4

Содержание диоксинов и ПХБ в крови пожарных в зависимости от стажа, пг/г липидов ($M \pm m$)

The content of dioxins and PCBs in the blood of firefighters depending on the length of service, pg/g lipids ($M \pm m$)

Стаж работы	Концентрации, пг/г липидов			
	ПХДД	ПХДФ	ПХБ	WHO _{PCDD/F,PCB} -TEQ
1 год	178,2±6,4*	97,5±5,3*	36,2±3,2*	124,3±7,2*
5 лет	426±7,2*	392±4,9*	58,1±4,2*	397,8±8,3*
10 лет	742±8,1	659±7,6	84,5±4,8	526,4±7,9

Примечание: * различие относительно пожарных с большим стажем, $p < 0,05$.

Note: * difference relative to firefighters with long experience, $p < 0,05$.

ферном воздухе городских и сельских поселений, в воздухе рабочей зоны возможно применение норматива для суммы ПХБ 1,0 мг/м³, в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88¹³.

Источниками поступления диоксинов в организм человека являются продукты питания (до 95%), воздух (3,5%), почва (1,3%), вода (0,001%). Диоксины медленно выводятся из организма (период их полувыведения из организма составляет 10 и более лет), оказывают общетоксическое действие, обладают цитотоксическим эффектом, нарушают деятельность эндокринной системы, провоцируют болезни кожи, крови и кроветворной системы, увеличивают биологический возраст, повышают восприимчивость к инфекциям, вызывают отдаленные эффекты, связанные с иммунодепрессивными, мутагенными, тератогенными, эмбриотоксическими и канцерогенными свойствами [16]. Выявление первичных молекулярных, биохимических, функциональных эффектов у здоровых людей по результатам анализа различных концентраций диоксинов в крови человека и показателем здоровья наблюдается при 30 пг/г липидов крови [17].

Обладающий наибольшей биологической активностью ТХДД входит в 1-ю группу по классификации Международного агентства по изучению рака (МАИР), включающую 63 наименования канцерогенных агентов химического и иного происхождения, и имеет безусловные доказательства опасности. В ГОСТ Р 57453–2017¹⁴ представлено эквивалентное соотношение результатов классификации опасности согласно МАИР (1 группа) и ГОСТ 32419–2013¹⁵ (класс 1А).

На втором этапе работы была проведена сравнительная характеристика содержания диоксинов в крови пожарных и спасателей контрольной группы (табл. 3), а также сравнительная характеристика концентрации диоксинов в крови пожарных в зависимости от стажа профессиональной деятельности (табл. 4).

Анализ полученных данных свидетельствует о высокой концентрации диоксинов в плазме крови как пожарных, участвующих непосредственно в пожаротушении, так и сотрудников, проводящих инспекцию на месте пожара.

Анализ полученных данных свидетельствует о значимом увеличении концентрации диоксинов в крови пожарных с увеличением стажа.

Выводы:

1. Химический фактор является одним из основных вредных и опасных факторов, воздействующих на организм пожарных. При горении синтетических полимерных и полимерсодержащих строительных и отделочных материалов выделяется широкий спектр загрязняющих веществ, концентрации которых многократно превышают нормативные уровни и их снижение практически невозможно.

2. Через сутки после ликвидации пожара концентрации большинства токсичных продуктов горения снижаются до уровня, близкого к ПДК. Однако концентрации диоксинов остаются на высоком уровне еще долгое время.

3. Полученные результаты исследования свидетельствуют о высоких концентрациях диоксинов в крови пожарных, участвующих в пожаротушении, так и специалистов, проводящих инспекцию на месте пожара, в сравнении с группой контроля. Получена значимая зависимость от стажа работы.

Identification of primary molecular, biochemical, functional effects in healthy people based on the analysis of various concentrations of dioxins in human blood, and health indicators observed at 30 pg/g blood lipids [17].

TCDD, which has the highest biological activity, is a part of the 1st group according to the classification of the International Agency for Research on Cancer (IARC), which includes 63 names of carcinogenic agents of chemical and other origins, and has absolute proof of danger. GOST R 57453–2017¹⁴ provides an equivalent correlation of the results of hazard classification according to IARC (group 1) and GOST 32419–2013¹⁵ (class 1A).

At the second stage of the study, a comparative characteristic of the dioxins content in the blood of firefighters and the control group rescuers (table 3), and the concentration of dioxins in the blood of firefighters, depending on the service length (table 4) carried out.

Analysis of the data obtained indicates a high concentration of dioxins in the blood plasma of firefighters directly involved in firefighting and employees conducting inspections at the fire site.

An analysis of the data obtained indicates a significant increase in the dioxins concentration in the blood of firefighters with an increase of experience.

Conclusions:

1. The chemical factor is one of the main harmful and dangerous factors affecting the body of firefighters. When burning synthetic polymer and polymer-containing building and finishing materials, a wide range of pollutants emitted, the concentrations of which are many times higher than the standard levels. Their reduction is almost impossible.

2. One day after the fire extinguishing a fire, the concentrations of most toxic combustion products decrease to a level close to the MPC. However, dioxin concentrations remain high for a long time.

3. The obtained results of the study indicate high concentrations of dioxins in the blood of firefighters involved in firefighting and specialists conducting inspections at the fire site, in comparison with the control group. A significant dependence on the length of service obtained.

4. Although the main route of entry of dioxins into the human body considered to be alimentary, with their high concentrations in the atmospheric air at all stages of fire extinguishing, the respiratory route of entry is of decisive importance for firefighters. It allows us to speak about the possibility of the occupational impact of this factor.

REFERENCES

1. Kolycheva I.V. Urgent issues of labour medicine in the fire fighters (literature survey). *Byulleten' VSNC SO RAMN*. 2005; 8 (46): 133–9 (in Russian).
2. D'yakovich M.P., Shevchenko O.I. Medical and psychological consequences of the influence of fire factors on JSC Irkutskkabel on fire liquidators. *Med. truda i prom. ecol*. 2008; 1: 29–35 (in Russian).
3. Shafran L.M., Nekhoroshkova Yu.V. Hygienic evaluation of working conditions and working process of fire rescue employees. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 1: 77–82 (in Russian).
4. Smilovenko O.O., Kurlovich I.G. Increasing of the occupational safety of firefighter-rescuer. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MCHS Belarusi*. 2017; 1 (4): 459–67 (in Russian).

¹³ ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

¹⁴ ГОСТ Р 57453–2017 «Руководство по применению критериев классификации опасности химической продукции по воздействию на организм. Канцерогенность».

¹⁵ ГОСТ 32419–2013 «Классификация опасности химической продукции. Общие требования».

¹⁴ GOST R 57453–2017 "Guidelines for the application of criteria for hazard classification of chemical products by their effects on the body. Carcinogenicity».

¹⁵ GOST 32419–2013 "Classification of chemical products hazard. General requirements».

4. Несмотря на то, что основным путем поступления диоксинов в организм человека считается алиментарный, при их высоких концентрациях в атмосферном воздухе на всех этапах ликвидации пожара, для пожарных определяющее значение имеет респираторный путь поступления, что позволяет говорить о возможности профессионального воздействия данного фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колычева И.В. Актуальные вопросы медицины труда пожарных. Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. 2005; 8 (46): 133–9.
2. Дьякович М.П., Шевченко О.И. Медикопсихологические последствия воздействия факторов пожара на ОАО «Иркутсккабель» на пожарных ликвидаторов. Мед. труда и пром. экол. 2008; 1: 29–35.
3. Шафран А.М., Нехорошкова Ю.В. Комплексная гигиеническая оценка условий труда и трудового процесса пожарных спасателей. Гигиена и санитария. 2015; 1: 77–82.
4. Смиловченко О.О., Курлович И.Г. Повышение безопасности труда пожарного-спасателя. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017; 1 (4): 459–67.
5. Рукавишников В.С., Колычева И.В. Медицина труда пожарных: итоги и перспективы исследований. Мед. труда и пром. экол. 2007; 6: 1–5.
6. Рукавишников В.С., Колычева И.В. и др. Некоторые подходы к мониторингу условий труда и состояния здоровья пожарных. Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2005; 2 (40): 7–14.
7. Стрельцова И.В., Скутова А.В. Медицинские аспекты профессиональной деятельности пожарных. Научный журнал. 2017; 5 (18): 105–6.
8. Адамян В.А., Мальков И.В. Медико-биологические аспекты трудовой деятельности пожарных. Центральный научный вестник. 2017; 2(19(36)): 3.
9. Софронов Г.А., Румак В.С. и др. Возможные риски хронического воздействия малых доз диоксинов для здоровья населения: к методологии выявления токсических эффектов. Медицинский академический журнал. 2016; 16 (3): 7–18.
10. Черняк Ю.И., Шелепчиков А.А., Грассман Д.А. Модификация диоксин-сигнального пути у высокоэкспонированных пожарных. Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2007; 2 (54): 65–71.
11. Черняк Ю.И., Грассман Д.А. Воздействие диоксинов на пожарных. Мед. труда и пром. экол. 2007; 6: 18–21.
12. Шелепчиков А.А., Черняк Ю.И. и др. Полихлорированные дибензо-п-дтоксины, дибензофураны и бифенилы в сыворотке крови пожарных Иркутского региона. Сибирский медицинский журнал. 2012; 3: 53–9.
13. Круглов Э.А., Амирова З.К. Экологическая безопасность и проблемы нормирования стойких органических загрязнителей (СОЗ). Башкирский экологический вестник. 2009; 1: 21–3.
14. Румак В.С., Умнова Н.В. Диоксины и безопасность биосистем: результаты натурных исследований. Жизнь Земли. 2018; 40 (3): 308–23.
15. Какарека С.В., Кухарчик Т.И. Источники поступления стойких органических загрязнителей в окружающую среду: опыт выявления и изучения. Природопользование. 2012; 22: 157–64.
16. Софронов Г.А., Рембовский В.Р., Радилов А.С., Могилenkova Л.А. Современные взгляды на механизм токсического действия диоксинов и их санитарно-гигиеническое нормирование. Медицинский академический журнал. 2019; 19 (1): 17–28.
17. Карамова Л.М., Башарова Г.Р. Клинически безопасный уровень диоксинов. Мед. труда и пром. экол. 2012; 2: 45–8.
5. Rukavishnikov V.S., Kolycheva I.V. Industrial hygiene for firemen: results and prospects of research. Med. труда i prom. ecol. 2007; 6: 1–5 (in Russian).
6. Rukavishnikov V.S., Kolycheva I.V., Dorogova V.B., Budarina L.A. Some approaches to monitoring of work conditions and health state in the fire fighters. Byulleten' VSNC SO RAMN. 2005; 2 (40): 7–14 (in Russian).
7. Strel'cova I.V., Skutova A.V. Medical aspects of professional activity of firefighters. Nauchnyy zhurnal. 2017; 5 (18): 105–6 (in Russian).
8. Adamyan V.L., Mal'kov I.V. Medical and biological aspects of labor activities of fire. Central'nyy nauchnyy vestnik. 2017; T. 2; 19 (36): 3 (in Russian).
9. Sofronov G.A., Rumak V.S., Umnova N.V., Belov D.A., Turbabin K.A. Chronicle exposure to low concentrations of dioxins and possible risks for human health: some aspects of toxic effects revealing. Medicinskij akademicheskij zhurnal. 2016; 16 (3): 7–18 (in Russian).
10. Chernyak Yu.I., Shelepchikov A.A., Grassman D.A. Modification of the dioxin signaling pathway in highly exposed firefighters. Byulleten' Vostochno — Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk. 2007; 2 (54): 65–71 (in Russian).
11. Chernyak Yu.I., Grassman D.A. Influence of dioxines on firemen. Med. труда i prom. ecol. 2007; 6: 18–21 (in Russian).
12. Shelepchikov A.A., CHernyak YU.I., Brodskij E.S., Feshin D.B., Grassman D.A. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in blood serum of firefighters of Irkutsk area. Sibirskij medicinskij zhurnal. 2012; 3: 53–9 (in Russian).
13. Kruglov E.A., Amirova Z.K. Environmental security and the problems of regulation of persistent organic pollutants (POPS). Bashkirskij ekologicheskij vestnik. 2009; 1: 21–3 (in Russian).
14. Rumak V.S., Umnova N.V. Dioxins and biosystems safety: field research results. Zhizn' Zemli. 2018; 40 (3): 308–23 (in Russian).
15. Kakareka S.V., Kuharchik T.I. Sources of persistent organic pollutants in the environment: identification and study experience. Prirodopol'zovanie. 2012; 22: 157–64 (in Russian).
16. Sofronov G.A., Rembovskij V.R., Radilov A.S., Mogilenkova L.A. Modern views on the Mechanism of the toxic action of dioxins and their hygienic rationing. Medicinskij akademicheskij zhurnal. 2019; 19 (1): 17–28 (in Russian).
17. Karamova L.M., Basharova G.R. Clinically safe level of dioxines. Med. труда i prom. ecol. 2012; 2: 45–8 (in Russian).