



© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2015
УДК 614.84:614.878

Химические вещества как поражающий фактор пожаров

БАШАРИН В.А., доктор медицинских наук, полковник медицинской службы¹
ГРЕБЕНЮК А.Н., профессор, полковник медицинской службы¹
МАРКИЗОВА Н.Ф., кандидат медицинских наук¹
ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ Т.Н., кандидат биологических наук¹
САРМАНАЕВ С.Х., профессор (ssarm@bk.ru)²
ТОЛКАЧ П.Г., старший лейтенант медицинской службы¹

¹Военно-медицинская академия им. С.М.Кирова, Санкт-Петербург; ²Институт повышения квалификации ФМБА России, Москва

В статье представлен обзор опубликованных научных данных о токсичных химических соединениях, образующихся при термодеструкции различных материалов. При пожаре на человека действует комплекс физических и химических факторов: наряду с травмами, термическими ожогами кожных покровов и дыхательных путей имеют место дефицит кислорода во вдыхаемом воздухе и воздействие продуктов термодеструкции. Наибольшее количество погибших на пожаре связано с вдыханием дыма и токсичных газов. Воздействие комбинации ядовитых веществ приводит к развитию различных форм токсического процесса. Основные причины отравлений на пожарах связаны с эффектами веществ общеядовитого и пульмонотоксического действия. Проявления интоксикации некоторыми из них регистрируются уже в зоне пожара, в других случаях, при отравлении соединениями замедленного действия, наблюдается скрытый период интоксикации. Знание спектра токсичных продуктов термодеструкции, действующих на человека при пожарах, необходимо для выработки подходов к совершенствованию медицинской помощи и созданию средств медицинской защиты.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пожар, токсичные вещества, токсический процесс, защита от факторов пожара.

Basharin V.A., Grebenyuk A.N., Markizova N.F., Preobrazhenskaya T.N., Sarmanaev S.Kh., Tolkach P.G. – Chemicals as fires damaging factor. The article provides an overview of published scientific data about toxic chemical compounds formed during thermal degradation of various materials. In case of fire the complex of physical and chemical factors affect the human, along with injuries, thermal burns of the skin and respiratory tract there is a lack of oxygen in the inspired air and the impact of thermal degradation products. The greatest number of deaths in a fire due to the inhalation by the victims smoke and toxic gases. The impact of the combination of toxic substances leads to the development of various forms of toxic process. The main causes of poisoning at the fires due to the effects of toxic substances and substances which can cause structural and functional disorders of the respiratory organ. Intoxication manifestations by some of them appear already in the fire zone, in other cases, in cases of poisoning by the compounds of the slow motion, there is the latent period of of intoxication. Knowledge of the spectrum of toxic products thermal destruction on the human during the fire, it is necessary to develop approaches to improve medical care and creation of tools of medical protection.

K e y w o r d s: the fire, toxic substances toxic process, fire protection factors.

В ряду чрезвычайных ситуаций пожары находятся на одном из ведущих мест по количеству пострадавших и причин гибели людей. По данным МЧС России, в 2013 г. было 153 208 пожаров, при которых погибло 10 560 человек [12].

Реальная опасность поражения военнослужащих на пожарах существует как в боевой обстановке, так и в повсе-

дневной деятельности войск. В ходе боевых действий военнослужащие могут попадать в зоны пожаров, сформировавшихся после применения обычных видов оружия или оружия массового уничтожения, действовать в сложной ситуации, вызванной применением боевых дымов и маскирующих аэрозолей, подвергаться воздействию огнесмесей. Высо-



кий риск поражений военнослужащих на пожарах в мирное время связан с нарушениями противопожарного режима и аварийными ситуациями, сопровождающимися возгоранием. Кроме того, внедрение новых наукоемких технологий с применением пожароопасных специальных материалов, постоянное совершенствование новых образцов вооружения и техники и их интенсивная эксплуатация усложняют задачи защиты личного состава Вооруженных Сил РФ от действия факторов пожаров.

В условиях пожара на человека действует комплекс физических и химических факторов. Наряду с травмами, термическими ожогами кожных покровов или без них наблюдаются ожоги дыхательных путей, воздействие низких концентраций кислорода во вдыхаемом воздухе и продуктов термодеструкции. До 70–90% отравлений тяжелой степени тяжести комбинируется с термохимическим поражением дыхательных путей [10].

Наибольшее количество погибших на пожаре связано с вдыханием дыма и токсичных газов [6, 20, 22, 23]. При этом на каждого погибшего приходится от 3 до 10 человек, пострадавших от действия токсичных компонентов продуктов термодеструкции различных материалов [33]. К дополнительным причинам, приводящим к гибели на пожарах, можно отнести алкогольное опьянение, что подтверждается частой идентификацией этанола в крови погибших. Сочетанное действие этилового алкоголя и монооксида углерода является причиной более тяжелого состояния пострадавших [1, 11, 14].

Отравления людей на пожарах вызваны летучими продуктами горения различных материалов, а также токсичными компонентами дымов (аэрозолей). Образующийся дым представляет собой сложный комплекс из смеси газов, паров и аэрозолей. При этом состав токсичных веществ может быть различным в зависимости от стадии пожара [4, 35].

При одной и той же общей концентрации, в зависимости от размера частиц аэрозолей, дым обладает различным действием на человека при ингаляции. Крупные частицы аэрозолей оседают в верх-

них дыхательных путях, вызывая механическое и химическое раздражение слизистой оболочки, мелкие проникают глубоко и оказывают не только местное, но и резорбтивное действие. Частицы диаметром более 50 мкм практически не проникают в дыхательные пути, до 10 мкм – оседают преимущественно в носоглотке (более 80%), 0,5–3 мкм – преимущественно в глубоких дыхательных путях и альвеолах (около 80%). Более мелкие частицы, как правило, не задерживаются в легких (минимальная задержка отмечается при диаметре частиц 0,25–0,3 мкм). Высокодисперсные аэрозоли (диаметр частиц менее 0,1 мкм) ведут себя практически как газы [7].

Большая поверхность дымов определяет их большую адсорбционную способность, удерживая на ней молекулы газа. Например, при горении полимерных материалов на поверхности частиц дыма сорбируются такие высокотоксичные вещества, как цианистый и хлористый водород, ряд других токсикантов. Эти молекулы в дальнейшем могут десорбироваться и поступать через аэрогематический барьер в кровь. В этой ситуации частицы аэрозоля при вдыхании выполняют транспортную роль по отношению к токсичным соединениям. Имеются данные, что ингаляция дыма с адсорбированным хлористым водородом, образовавшимся при горении поливинилхлорида, приводит к более выраженному эффекту, чем изолированное действие HCl. Полагая, что это связано с поступлением частиц дыма в легкие, где хлористый водород десорбируется и, растворяясь, вызывает токсическое повреждение тканей [19].

При горении материалов могут образовываться свободные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью [25]. Как правило, время существования этих радикалов очень короткое, однако, если они адсорбируются на частицах дыма, то время их существования может быть более продолжительным и они могут проникать в глубокие отделы дыхательной системы, инициируя различные токсические процессы [29].

В реальных условиях пожара состав образовавшейся газовой смеси определя-



ется температурой горения, содержанием кислорода в атмосфере, а также зависит от характера материала, подвергающегося термической деструкции. Известно, что горение материалов может быть полным и частичным, при этом, как правило, газообразные продукты полного сгорания менее опасны, чем соединения, образующиеся при недостатке кислорода [14].

Новые синтетические материалы, в т. ч. широко используемые в Вооруженных Силах (например, элементы обшивки военной техники), могут быть источником образования различных токсичных соединений при их сгорании или пиролизе. Современные методы химического анализа позволяют определять в продуктах горения сотни токсичных химических веществ. Например, при идентификации образующихся продуктов термодеструкции 7 пластиков было выявлено около 400 химических веществ, при этом не все образовавшиеся вещества удалось идентифицировать. В продуктах термического разложения поливинилхлорида обнаружено более 70 компонентов, а при горении целлюлозы образуется 175 летучих химических соединений [30]. Более 150 веществ образуется при термическом разрушении полиэтилена [32].

На спектр химических веществ, образующихся при горении различных материалов, могут оказывать влияние различные добавки, пластификаторы, стабилизаторы, наполнители и прочее. Например, включение ферроцианида цинка в поливинилхлорид в качестве противодымной добавки может приводить к образованию цианистого водорода (HCN), в то время как при горении собственно поливинилхлорида цианистый водород не образуется [24]. Следует учитывать также, что применение средств пожаротушения может приводить к появлению токсичных продуктов, в т. ч. и за счет их термодеструкции [9, 17, 29].

Учитывая, что используемые в быту и промышленности изделия могут состоять одновременно их несколько материалов и пластмасс, предсказать полный перечень веществ, который образуется на пожаре, весьма проблематично. Более того, образующиеся на пожаре молекулы газов или паров могут вступать в химическое взаимодействие между собой и образовывать новые химические соединения [25]. Например, фосфорный ангидрид с парами воды дает фосфорную кислоту. Диоксид азота с ненасыщенными углеводородами может образовать раздражающие токсичные газы и др.

К наиболее часто встречающимся при пожарах в жилых помещениях токсичным соединениям относятся: CO, HCl, HCN, NO₂, SO₂, акролеин, бензол [16, 32]. В результате горения могут образовываться различные концентрации соединений в воздухе помещений (см. таблицу).

Основной причиной смерти на пожарах является действие общеядовитых веществ, приводящее к повреждению биологических механизмов энергетического обмена и возникновению энергетического дефицита организма. Эти соединения приводят либо к нарушению доставки кислорода к клеткам, либо к снижению образования энергии в них.

Концентрация некоторых токсичных продуктов горения при пожарах в жилых помещениях [18]*

Токсикант	ПДК р.з.**, ppm (мг/м ³)	Концентрация вещества в воздухе на пожарах, ppm	
		средняя	максимальная
CO	20	246–1450	2700
HCN	0,3	0,14–5,0	75
Акролеин	0,2	1,9	98
Бензол	15	4,7–56	250
HCl	5	0,8–13	280
NO ₂	2	0,04–0,7	9,5
SO ₂	10	2,3	42

* С авторским дополнением, взятым из различных источников; ** Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны (ПДК р.з.) [3].



Наиболее важными соединениями из этой группы, при контакте с которыми развивается интоксикация, являются монооксид углерода и синильная кислота [24]. Особенно большое значение эти соединения имеют при возникновении пожаров в закрытых помещениях [17, 18].

Монооксид углерода — это газ, который не имеет вкуса, цвета и запаха. В зарубежной печати он был назван «тихим убийцей» (silent killer) [35, 36]. Значительные количества оксида углерода образуются практически во всех случаях горения углеродсодержащих материалов, особенно в условиях недостатка кислорода. Так, например, содержание CO в условиях значительного количества кислорода и его недостатка может различаться в 10 раз [28]. Основное действие монооксида углерода при остром отравлении связано с образованием карбоксигемоглобина и развитием гипоксии. Концентрация карбоксигемоглобина в крови пострадавших на пожарах в закрытых помещениях может колебаться в широком диапазоне от нескольких процентов до 90% и выше. Однако не всегда выявляется корреляция между содержанием карбоксигемоглобина и состоянием пострадавших [30]. Содержание карбоксигемоглобина в крови, взятой у пострадавших непосредственно после извлечения из очага, значительно более высокое, чем в образцах крови при поступлении этих лиц в медицинские учреждения [23].

Другим соединением, которое вносит существенный вклад в развитие интоксикации на пожарах, является синильная кислота, которая образуется при возгорании азотсодержащих материалов [2, 25]. Источники цианидов — различные азотсодержащие полимеры, а также бумага, шерсть, шелк и др. [8, 15]. Образование синильной кислоты в условиях реального пожара не пропорционально содержанию азота в материалах и зависит от условий термодеструкции азотсодержащих материалов [35]. Так, например, при разных температурах горения происходит образование разных количеств цианистого водорода [21, 34]. Выделение цианистого водорода увеличивается по мере повышения температуры термодеструкции и снижения концентрации кислоро-

да [17, 31, 34]. Основной механизм действия цианистого водорода заключается в блокаде окислительного фосфорилирования в процессе тканевого дыхания. В то же время при горении азотсодержащих материалов возможно образование и других токсичных соединений азота: оксидов азота, изоцианатов, нитрилов, аммиака и др. Любой из этих токсикантов также может быть причиной поражения человека.

Следующая группа веществ, имеющих большое значение для развития поражений на пожарах, это соединения, обладающие раздражающим и пульмонотоксическим действием. Пульмонотоксиканты — вещества, к которым порог чувствительности органов дыхания существенно ниже, чем других органов и систем, а клиника поражения характеризуется прежде всего структурно-функциональными нарушениями со стороны органов дыхания. Сюда входят галогены, оксиды азота и серы, галогенпроизводные угольной кислоты, производные фтора, аммиак, изоцианаты, оксиды металлов и пр. [8].

Так, в процессе термодеструкции серосодержащих веществ происходит образование сернистого ангидрида, сероводорода, а фторсодержащих соединений — ненасыщенных фторидов, фтористого водорода. Воздействие высоких температур на алифатические хлорорганические соединения может приводить к образованию фосгена [25]. При горении различных материалов могут образовываться и другие подобные соединения, однако их роль в формировании отравлений на пожарах недостаточно изучена.

Все перечисленные пульмонотоксиканты не обладают специфическим действием, а их повреждающие эффекты связаны с универсальным алкилирующим действием на элементы аэрогематического барьера с инициацией прооксидантных процессов в мембранах клеток или сочетанием этих видов повреждения клеток бронхолегочного аппарата. Все это в конечном итоге приводит к повышению проницаемости клеток аэрогематического барьера с ответной реакцией в виде формирования респираторного дистресс-синдрома взрослых химической этиологии.



В настоящее время накоплены данные о токсических эффектах, вызываемых как отдельными токсичными компонентами пожаров, так и их комбинациями [13, 27]. Наиболее частое сочетание факторов химической природы на пожарах: CO + недостаток кислорода; CO + CO₂; CO + CO₂ + недостаток кислорода; CO + HCl; CO + CO₂ + HCl; CO + HCN; CO + HCN + CO₂ + недостаток кислорода; CO + NH₃ + CO₂; CO + NO₂ + SO₂; CO + CO₂ + HCl + сажа.

Экспериментальные исследования показали, что комбинация различных газов может вызывать аддитивный эффект, синергизм или антагонизм [13]. К примеру, при комбинации типичных представителей продуктов термодеструкции CO и CO₂ с HCN, SO₂ и NO₂ происходит непропорциональное усиление токсического эффекта.

При изучении токсичности монооксида углерода в экспериментах было показано, что при экспозиции в течение 30 мин его среднелетальная концентрация (LC₅₀) для крыс составляла 6600 ppm, при его ингаляции в комбинации с 5% CO₂ концентрация монооксида углерода, приводящая к 50% гибели животных, снижалась до 3900 ppm [27].

При изучении токсичности бинарной смеси CO и NO₂ было установлено, что среднелетальная концентрация CO в этих условиях снижалась в два раза и составляла 3300 ppm. При исследовании смеси 5% CO₂ и NO₂ среднелетальная концентрация последнего составляла 90 ppm, а при ингаляции только оксида азота она равнялась 200 ppm [28].

Смеси CO и HCN обладали более выраженным токсическим эффектом, чем при изолированном применении [35]. В целом эффекты от комбинации ядов, обладающих общетоксическим действием, в основном носят аддитивный характер, что подтверждается экспериментальными данными для действия CO и цианидов.

Более сложным является определение эффектов в случае образования в атмосфере пожара оксидов азота. В экспериментальных исследованиях изучались эффекты, связанные с воздействием сме-

си NO₂ и HCN на крыс [27]. При действии оксида азота в дозе 200 ppm (LC₅₀) в течение 30 мин гибель животных наблюдалась только после окончания воздействия токсиканта, а при действии синильной кислоты в такой же дозе гибель наблюдалась во время экспозиции вещества. Однако при комбинации этих соединений, когда оксид азота использовался в дозе LC₅₀, для достижения 50% гибели животных во время экспозиции веществ потребовалось повысить концентрацию синильной кислоты в 2,4 раза. Этот феномен, вероятно, объясняется тем, что ингаляция оксида азота приводит к образованию метгемоглобина, который связывает циан-ионы с образованием цианметгемоглобина, предотвращая поступление циан-иона в клетку. Таким образом, в данном случае наблюдается антагонизм в действии токсикантов. В то же время при действии этой смеси сохраняется летальность в отдаленный период, что объясняется развитием респираторного дистресс-синдрома взрослых, связанного с пульмонотоксическим действием NO₂.

Описаны эффекты и других комбинаций веществ в эксперименте. В целом необходимо отметить, что проблема комбинированного действия веществ по-прежнему актуальна. Как правило, в реальных ситуациях на человека воздействуют более сложные комбинации различных соединений, и их действие требует дальнейших исследований, дополнительно включая в программы изучения «миnorные компоненты».

Таким образом, конечный токсический эффект определяется действием разнородной смеси газообразных ядовитых продуктов, образующихся в процессе термодеструкции различных материалов. Состав газовой смеси в основном определяет особенности клинического течения отравлений продуктами горения. В одних случаях это кратковременное раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей (т. н. транзиторные реакции), а в других — острые отравления, которые могут привести к гибели пострадавших.



Следует отметить, что проявления отравлений некоторыми токсикантами регистрируются уже в зоне воздействия факторов пожара, а некоторые обладают замедленным действием, инициация процессов подобными соединениями начинается спустя несколько часов после скрытого периода. Среди первой группы веществ, а это основная группа токсикантов, определяемых в атмосфере пожара, — CO, HCN, HCl и другие яды, преимущественно общедоვитого и раздражающего действия. К веществам замедленного действия относится, например, фосген, при отравлении которым скрытый период может достигать 24 ч. Однако в условиях пожара изолированное действие фосгена мало вероятно, поэтому клиника отравления будет, по-видимому, модифицироваться другими продуктами горения.

Еще более сложно оценить действие веществ, которое может приводить к развитию отдаленных эффектов, характеризующих становление специальных форм токсического процесса, в частности химического канцерогенеза [21]. Так, имеются данные, свидетельствующие о более высоком риске смерти пожарных из-за рака толстой кишки, почек, мозга, мочевого пузыря и лейкемии, которые, как полагают, могут быть связаны с воздействием продуктов термодеструкции [26, 30]. Такие формы токсического процесса требуют целенаправленного наблюдения за состоянием здоровья с целью раннего выявления неопластических процессов в организме.

Своевременная диагностика этиологического фактора, вызвавшего отравление на пожаре, является актуальной и может определить тактику лечения, в т. ч.

и выбор антидотных средств. В различных регионах Российской Федерации в общей структуре интоксикаций доля отравленных оксидом углерода составляет 6–12% [5, 12]. Установление доли отравлений другими токсичными компонентами пожаров, как правило, затруднено. При экспертной оценке отравлений недостаточно разработаны лабораторные и диагностические критерии, связанные с оценкой воздействия на организм других высокотоксичных продуктов термодеструкции, за исключением монооксида углерода. Целесообразно проводить более тщательную идентификацию токсичных продуктов горения в случаях, когда в крови погибших обнаруживаются низкие концентрации карбоксигемоглобина. Идентификация продуктов термодеструкции позволит продолжить совершенствование детерминированной терапии отравленных на пожарах. Именно в этой связи существует острая необходимость разработки спектра специфических антидотных препаратов.

Представленные данные о токсичных компонентах термодеструкции свидетельствуют, что проблема токсического действия химических веществ и их комбинаций, образующихся на пожарах, весьма актуальна и требует проведения дальнейших экспериментальных и клинических исследований. Целью этих исследований должна быть разработка диагностических критериев для конкретизации этиологического фактора заболеваний химической природы на пожарах. Это, в свою очередь, лежит в основе выработки целесообразной тактики этиологического и патогенетического лечения пораженных на пожарах.

Литература

1. *Абдукаримов Б.А., Искандаров А.И.* Особенности судебно-медицинской токсикометрии острых отравлений угарным газом, сочетанных с алкогольной интоксикацией // Суд.-мед. экспертиза. — 2010. — № 1. — С. 30–33.
2. *Белешников И.Л.* Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб, 1996. — 24 с.

3. Гигиенические нормативы химических веществ в окружающей среде / 3-е изд., доп. и перераб. / Под ред. *Ю.А.Рахманина, В.В.Семеновой, А.В.Москвица.* — СПб: НПО «Профессионал», 2007. — 768 с.

4. *Гребенюк А.Н., Баринов В.А., Башарин В.А., Маркизова Н.Ф.* Оказание неотложной медицинской помощи пострадавшим при пожарах // Медицина катастроф. — 2008. — № 2. — С. 14–17.

5. *Краева Ю.В., Брусин К.М., Кондрашов Д.Л.* и др. Исследование структуры острых отрав-



лений на догоспитальном и госпитальном этапах // Биомедицинский журнал Medline.ru. – 2013. – Т. 14. – С. 750–761. URL: <http://www.medline.ru> (дата обращения: 16.12.2014).

6. Курбанов С.И., Мороз В.И., Серегин Г.И., Алексеев А.А. Патогенез тепловой ингаляционной травмы у ожоговых больных // Клиническая медицина. – 1996. – № 1. – С. 9–11.

7. Куценко С.А. Основы токсикологии. – СПб: Фолиант, 2004. – 720 с.

8. Мурзаев А.М. Судебно-медицинская характеристика отравлений продуктами горения азотсодержащих полимерных материалов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – СПб, 1998. – 24 с.

9. Остапенко Ю.Н., Простакишин Г.П., Рожков П.Г. О токсическом воздействии продуктов горения на пострадавших при пожаре в Перми 4 декабря 2009 г. // Медицина катастроф. – 2010. – № 1. – С. 56–57.

10. Полозова Е.В., Шилов В.В., Кузнецов О.А. Влияние алкогольной интоксикации на течение острых отравлений угарным газом, осложненных термохимическим поражением дыхательных путей // Скорая мед. помощь. – 2010. – № 4. – С. 53–58.

11. Софронов Г.А., Черный В.С., Александров М.В. Качество жизни лиц, перенесших острые отравления продуктами горения // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. – 2012. – № 2. – С. 6–10.

12. Статистика о пожарах и их последствиях. URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 16.12.2014).

13. Туинов Л.А., Кустов В.В. Токсикология окиси углерода. – М.: Медицина, 1980. – 288 с.

14. Черняев А.Л., Шахина М.Ю. Патология легкого при пожарах и отравлениях угарным газом // Пульмонология. – 2010. – № 4. – С. 35–39.

15. Яблочкин В.Д. Экспертное значение определения летучих продуктов горения неметаллических материалов при исследовании крови погибших на пожаре // Суд.-мед. экспертиза. – 2000. – № 6. – С. 30–32.

16. Alarie Y. Toxicity of fire smoke // Crit. Rev. Toxicol. – 2002. – Vol. 32. – P. 259–289.

17. Andersson B., Blomqvist P., Dederichs A. Thermal breakdown of extinguishing agents / Report 3137 Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety. – Sweden: Lund University, 2008.

18. Blomqvist P., Lonnermark A. Characterization of the combustion products in large-scale fire tests: comparison of three experimental configurations // Fire and Materials. – 2001. – Vol. 25, N 2. – P. 71–81.

19. Burleigh-Flayer H., Wong K.L., Alarie Y. Evaluation of the pulmonary effects of HCl using CO₂ challenges in guinea pigs // Fund. App. Tox. – 1985. – Vol. 5. – P. 978–985.

20. Clarke F.B. Toxicity of combustion products current knowledge // Fire J. – 1983. – Vol. 77, N 5. – P. 84–90.

21. Cullis C.F., Hirschler M.M. The Combustion of Organic Polymers. – Oxford, Clarendon Press, 1982. – P. 240–242.

22. Fire Statistics: Great Britain April 2012 to March 2013 / Department for Communities and Local Government. – London, 2014. – 60 p.

23. Hall J.R., Harwood B. Smoke or burns – which is deadlier // NFPA – 1998. – January/February. – P. 38–43.

24. Hampson N.B., Weaver L.K. Carbon monoxide poisoning: a new incidence for an old disease // Undersea Hyperb. Med. – 2007. – Vol. 34. – P. 163–68.

25. Hull T.R., Carman J.M., Purser D.A. Prediction of CO evolution from small-scale polymer fires // Polym. Int. – 2000. – Vol. 49, N 10. – P. 1259–1265.

26. Kales S.N., Soteriades E.S., Christophi C.A. et al. Emergency duties and death from heart disease among firefighters in the United States // N. Eng. J. Med. – 2007. – Vol. 356. – P. 1207–1215.

27. Levin B.C., Paabo M., Gurman J.M., Harris S.E. Toxicology of Fire and Smoke / Inhalation Toxicology / Eds H.Salem, S.A.Katz. – CRC Press, 2006. – P. 205–230.

28. Levin B.C., Paabo M., Highbarger L., Eller N. Synergistic effects of nitrogen dioxide and carbone dioxide following acute inhalation exposures in rats / National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg, 1989.

29. Lo S.H., Chan C.C., Chen W.C., Wrang J.D. Grand rounds: outbreak of hematological abnormalities in a community of people exposed to leakage of fire extinguisher gas // Environ. Health Perspect. – 2006. – Vol. 114, N 11. – P. 1713–1717.

30. Ma F., Fleming L.E., Lee D.J. et al. Mortality in Florida professional firefighters, 1972 to 1999 // Am. J. Ind. Med. – 2005. – Vol. 47. – P. 509–517.

31. Morikawa T. Evolution of hydrogen cyanide during combustion and pyrolysis // J. Combust. Toxicol. – 1978. – Vol. 5, N 3. – P. 125–128.

32. Paabo M. A., Levin B.C. Literature of the chemical nature and toxicity of the thermal decomposition products of polyethylenes // Fire Mater. – 1987. – Vol. 11. – P. 55–70.

33. Pauluhn J.A. Retrospective analysis of predicted and observed smoke lethal toxic potency values // J. Fire Sciences. – 1993. – Vol. 11, N 2. – P. 109–130.

34. Purser D.A. Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases and heat / SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 4th Edition / Ed. P.J.DiNenno. – National Fire Protection Association, Quincy, 2008. – P. 2-96–2-193.

35. Stefanidou M., Athanazelis S., Spillopoulou C. Health impact of fire smoke inhalation // Inhal. Toxicol. – 2008. – Vol. 20. – P. 761–766.

36. The Silent Killers. CO monitoring adds a new dimensions to firefighter rehab and emergency care / Ed. A.J.Heightman. – San Diego: Elsevier, 2010. – 30 p.