

ТОКСИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ПОРАЖЕНИЕ НА ПОЖАРЕ

Сарманаев С.Х.* , Башарин В.А., Толкач П.Г., Шербашов К.А.

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова,

194044 г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, тел.: +7 (812) 292-34-82

ФГБОУ ДПО ИПК ФМБА России, 125371, г.Москва, Волоколамское шоссе, 91

Тел.: +7 (495) 193-45-69; e-mail: basharin1@mail.ru

Резюме: На пожаре на человека действует комбинация различных химических веществ, которая может привести к развитию различных форм токсического процесса. В статье обосновывается необходимость идентификации спектра образующихся токсичных продуктов термодеструкции на пожаре.

Ключевые слова: пожар, токсичные вещества, дым, токсический процесс, отравление

THE TOXIC- CHEMICAL DAMAGE ON FIRE

Sarmanayev S. Kh.* , Basharin V.A., Tolkach P.G., Sherbasshov K.A.

Military Medical Academy named S.M. Kirov

194044 Russia, Saint-Petersburg, Lebedeva street, 6, tel.: +7 (812) 292-34-82

**FSBED DPE IPK FMBA Russia, 125371, Moscow, Volokolamskoe shosse, 9*

Tel.: +7 (495) 193-45-69; e-mail: basharin1@mail.ru

Abstract: In fire, the human contacts with a combination of different chemicals, which can lead to the development of various forms of toxic process. The article substantiates the necessity of identification spectrum of thermal decomposition chemicals in fire.

Key words: fire, toxic chemicals, smoke, toxic process, intoxication

Совершенствование системы противопожарной безопасности позволило в последние годы несколько снизить общее количество пожаров. Согласно официальной статистике (данные МЧС России) в январе-сентябре 2014 году в нашей стране возникло 109000 пожаров, на них погибло 6831 человек [1]. Однако в последние годы наблюдается тенденция к росту крупных пожаров с большим числом пострадавших на объектах с большим количеством людей [2, 3]. Так, например, крупный пожар произошел 11 марта 2015 года в торговом центре «Адмирал» города Казани. На момент подготовки данной статьи погибло 17 человек, при этом поиск пострадавших под завалом конструкции здания спустя 5 суток после пожара еще продолжался.

Гибель людей на пожаре связана с действием термического, химического и механического факторов. Основной вклад в структуру погибших вносят лица, отравленные токсичными продуктами горения [4, 5].

Своевременная диагностика этиологического фактора, вызвавшего отравление на пожаре, является актуальной задачей. В тоже время установление причины отравлений токсичными компонентами пожаров, как правило, крайне затруднено. При термодеструкции материалов, образующийся дым представляет собой сложный комплекс очень изменчивый по происхождению и составу, состоящий из смеси газов, паров, аэрозолей и пр., которые попадают в организм ингаляционно [6].

Приводим дефиниции, характеризующие некоторые виды ингалируемых частиц дыма (в соответствии с их физическим состоянием) [7]:

- газ – бесформенная, сжимаемая субстанция, в которой молекулы свободно передвигаются при комнатной температуре (25°C) и нормальном атмосферном давлении (760 мм Hg), способная заполнять пространство;
- пар – газообразное состояние вещества, которое при нормальных условиях является жидкостью или твердой субстанцией;
- аэрозоль – дисперсия в газе твердых или жидких микроскопических частиц;
- пыль – дисперсия твердых частиц, видимых невооруженным взглядом на ярком свете и способных ингалироваться,;
- туман – дисперсия жидких частиц, образовавшихся при конденсации пара;
- дымка (легкий туман) – дисперсия жидких частиц, образовавшихся в результате конденсации; капли значительно больше, тех которые образуют туман, и могут быть видимы невооруженным глазом;
- дым – дисперсия твердых частиц, образовавшихся в результате конденсации из парообразного состояния;
- копоть – дисперсия малых частиц (менее 0,1 мкм), образовавшихся в результате неполного сгорания органических веществ.

При одной и той же общей концентрации, в зависимости от размера частиц аэрозолей, дым обладает различным действием на человека. Крупные частицы аэрозолей оседают в верхних 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, 5 мкм и более – оседают преимущественно в носоглотке (свыше 80%),

0,3–4 мкм – могут доходить до респираторных бронхиол; частицы 0,2 мкм и менее проникают в респираторные бронхиолы и альвеолярные ходы, частицы менее 0,1 мкм способны достигать альвеол [8].

Поверхность частиц дыма может легко сорбировать на себе токсичные газы, а после поступления в легкие эти газы могут десорбироваться и, проникая через альвеоларно-капиллярную мембрану, инициировать токсический процесс. [9].

Состав токсичных продуктов горения в условиях пожара зависит от температуры горения, концентрации кислорода в атмосфере, а также материала, подвергающегося термической деструкции. При горении материалов при недостатке кислорода, как правило, образуются более токсичные соединения [10]. Спектр химических веществ может существенно различаться в зависимости от стадии пожара [11].

Существующие методы химического анализа позволяют определять в продуктах горения современных материалов токсичные химические вещества сотен наименований [12]. Включение в материалы различных наполнителей (пластификаторов, стабилизаторов и др.) может изменить комплекс образующихся при горении веществ [13].

В таблице 1 приведены наиболее часто образующиеся химические компоненты пожаров, при горении различных материалов.

Таблица 1. Токсичные продукты горения, их источники, патологическое действие

Продукт горения	Источник	Токсическое действие
Двуокись углерода	Все органические материалы	Учащенное дыхание
Монооксид углерода	Все органические материалы	Тканевая гипоксия, органная недостаточность, летальный исход
Цианиды, синильная кислота (HCN)	Акрилонитрил, нейлон, бумага, полиуретан, нитроцеллюлоза, смолы, шелк, шерсть, древесина, полиаминная резина, полиакрилонитрил.	Тканевая гипоксия, органная недостаточность, летальный исход
Акролеин (или пропелан)	Акрелан (ковровое покрытие), полипропилен, акриловые соединения, целлулоид, целлюлоза, полиолефины	Раздражение слизистой оболочки дыхательных путей
Галогенсодержащие кислоты и газы (Br, F, Cl)	Галогенизированные углеводороды, искусственные пленки, смолы, противопожарные смеси.	Раздражение слизистой оболочки дыхательных путей
Аммиак	Нейлон, смолы (меламиновые, полифенольные), шелк, древесина, полиуретан, полиамиды, полиаминная резина	Раздражение слизистой оболочки дыхательных путей
Альдегид (формальдегид, бутилальдегид, ацетальдегид)	Ацетатная целлюлоза (пленка), хлопок, бумага, полистирол, поливинилацетат, древесина	Некроз слизистой оболочки дыхательных путей, денатурация белков
Изоцианаты	Полиуретан	
Оксиды азота	Целлулоид, нитрат целлюлозы, нефтепродукты, древесина	ОРДС
Ароматические углеводороды	Полистирол	Раздражение слизистой оболочки дыхательных путей, системное токсическое действие
Оксиды серы, сероводород	Шерсть, волосы, нефтепродукты, резина, древесина	Раздражение слизистой оболочки дыхательных путей
Хлористый водород, фосген (карбонилхлорид)	Хлорсодержащие полимерные материалы, полиэстер, поливинилхлорид.	Некроз слизистой оболочки дыхательных путей, ОРДС.

Предсказать полный перечень веществ, который может образоваться на пожаре - сложно, так как в строительстве, быту или на производстве применяется одновременно несколько материалов, в том числе и пластмасс. Кроме того, формирующиеся при термодеструкции молекулы веществ могут химически взаимодействовать между собой с образованием новых токсичных соединений [14].

Таким образом, на человека действует комбинация токсико-химических продуктов горения, при этом вклад «мажорных» компонентов достаточно хорошо изучен, в то время как «минорная» составляющая пожаров и ее роль в формировании токсического процесса требует дальнейшего скрупулезного изучения.

К «мажорным» компонентам относят соединения, которые наиболее часто встречаются на пожарах и в значительных концентрациях: CO , HCl , HCN , NO_2 , SO_2 , акролеин, бензол и пр. [15, 16].

Считается, что основной причиной смерти на пожаре является действие общеядовитых веществ, приводящее к повреждению биологических механизмов энергетического обмена и возникновению энергетического дефицита организма. Монооксид углерода и синильная кислота – наиболее часто образующиеся общеядовитые соединения на пожаре, которые являются причиной острых отравлений [17].

Токсикология монооксида углерода (угарного газа) достаточно хорошо описана в литературе. В настоящее время становится очевидным, что при поражениях этим газом не всегда удается установить сильную корреляцию между содержанием карбоксигемоглобина и состоянием пострадавших [12]. Предполагается, что прогностическим значением может обладать скорость снижения содержания карбоксигемоглобина у пациента [18].

При отравлениях угарным газом антидотом является ацизол, который выпускался для парентерального (ампулы) и перорального (капсулы) применения. В настоящее время данный антидот является недоступным для практического здравоохранения, закупки его невозможны. На рынке представлен лекарственный препарат «Цитохром С». В аннотации к препарату отмечается, что он может применяться при отравлении угарным газом. К сожалению, нам не удалось найти в литературе убедительных данных об эффективности этого препарата при отравлениях монооксидом углерода. Таким образом, в настоящее время, альтернативы ацизолу нет, а реально существующим антидотом при отравлениях монооксидом углерода, по-прежнему, остается кислород.

Синильная кислота вносит существенный вклад в развитие поражений на пожарах [14]. Источниками цианидов (табл. 2), являются различные азотсодержащие полимеры, а

также бумага, шерсть, шелк и др. [19]. Образование цианистых соединений в условиях реального пожара зависит от условий термодеструкции азотсодержащих материалов [6]. Выделение цианидов увеличивается по мере повышения температуры термодеструкции и снижения концентрации кислорода [20]. Как правило, факт отравления цианидами на пожарах, устанавливается по данным судебно-медицинской экспертизы погибших, а целенаправленная антидотная терапия пострадавших не проводится.

Таблица 2. Концентрации цианидов, образующиеся при сгорании различных продуктов

Продукт	Концентрация цианидов (мкг/м ³)	Продукт	Концентрация цианидов (мкг/м ³)
Фиберглас	8000	Битум	300
Минеральное волокно	1000	Ламинат	1000
Полиуретан (гибкий)	1200	Поливинилстирол	200
Полиуретан (жесткий)	4500	Фторполимерные шарики	0
Полистирол	3500	Полиэтиленовые шарики	0
Дерево	200	Полиэтиленовый кабель	100
Шерсть	1000	Фторполимерный кабель	200
Меламин	3500	Оптический кабель	500
Нитриловая резина	4000		

Большое значение для развития поражений при пожарах обладают соединения с раздражающим и пульмонотоксическим действием. Перечень веществ пульмонотоксического действия на пожаре достаточно разнообразен. Так, например, воздействие высоких температур на алифатические хлорорганические соединения может приводить к образованию фосгена [21]. Это соединение приводит к развитию токсического отека легких после скрытого периода, продолжительностью 1-2 суток. Однако, на пожаре картина поражения может быть модифицирована комбинированным действием других продуктов термодеструкции. В настоящее время в доступной литературе проблемы патологических эффектов пульмонотоксикантов и их комбинаций на организм человека в реальных условиях пожара освещены недостаточно, преимущественно они носят экспериментальный характер [22].

Таким образом, в результате горения различных материалов образуются сложные смеси веществ, определение истинного состава которых в реальных условиях пожара крайне затруднено. Конечный токсический эффект будет определяться целым рядом факторов: образующейся газовой средой на пожаре, состоянием здоровья пострадавших, началом оказания помощи, своевременностью применения антидотов и другими.

Учитывая эти положения, очевидна необходимость проведения дальнейших исследований, которые целесообразно продолжить по следующим направлениям:

- идентификация спектра химических веществ, инициирующих токсико-химические поражения, в условиях пожаров;
- изучение токсического влияния комбинаций химических веществ, образующихся на пожарах;
- выявление особенностей клинического течения отравлений при действии токсичных компонентов горения, в том числе при действии комбинации веществ;
- разработка лабораторных и диагностических критериев оценки состояния лиц, пострадавших на пожаре;
- изучение отдаленных последствий действия токсикантов, образующихся на пожарах;
- идентификация причин гибели в случаях, когда в крови лиц, погибших на пожаре обнаруживаются низкие концентрации карбоксигемоглобина;
- совершенствование схемы терапии лиц, отравленных на пожарах;
- поиск новых лекарственных средств антидотной и патогенетической терапии.

Литература

1. Сведения о пожарах и их последствиях за январь-сентябрь 2014 г. – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru>, свободный.
2. 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.
3. Antonio A.C.P., Castro P.S., Freire L.O. Smoke inhalation injury during enclosed-space fires: an update // J Bras. Pneumol. –2013. –V.39, N3. –P. 373-381.
4. Hall J.R., Harwood B. Smoke or burns – which is deadlier? // NFPA –1998. –January/February. –P.38-43.
5. Pauluhn J.A. Retrospective analysis of predicted and observed smoke lethal toxic potency values // J. Fire Sciences. –1993. –Vol. 11, № 2. –P. 109-130.
6. Stefanidou M., Athanazelis S., Spilopoulou C. Health impact on fire smoke inhalation // Inhal. Toxicol. – 2008. – 20. – P.761-766.
7. Corrin B., Nicholson A. Pathology of the lungs. – Elsevier Ltd., 2011 –760 p.
8. Nemery B. Inhalation injury, chemical. /In: Nemery B. Edr. Occupational diseases. – London: Elsevier; 2006. P. 208-216.
9. Burleigh-Flayer H., Wong K. L., Alarie Evaluation of the pulmonary effects of HCl using CO₂ challenges in guinea pigs. / Fund. & App. Tox. –1985. –Vol. 5. –P. 978-985.
10. Тиунов Л.А., Кустов В.В. Токсикология окиси углерода. –М.: Медицина, 1980 –288 с.
11. Wilkie C.A., Morgan A.B. Fire retardancy of polymeric materials. – CRC Press, USA, 2012 –P. 767.
12. Ma F., Fleming L.E., Lee D.J. et al. Mortality in Florida professional firefighters, 1972 to 1999 // Am. J. Ind. Med. –2005. –47. –P.509-517.
13. Hampson N.B., Weaver L.K. Carbon monoxide poisoning: A new incidence for an old disease / Undersea Hyperb. Med. –2007. –34. –p. 163-168
14. 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.
15. Alarie Y. Toxicity of fire smoke //Crit. Rev. Toxicol. –2002. –Vol. 32. – P. 259-289.
16. 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.

17. Blomqvist P., Lonnermark A., Characterization of the combustion products in large-scale fire tests: Comparison of three experimental configurations. // Fire and Materials. – Vol. 25, N2. – p. 71-81.
18. Bolotnikov A.I., Sarmanaev S.Kh., Akhmetov I.R., Tuktarova R.R. Carbon monoxide poisonings (CMP): level of carboxyhemoglobin (COHb) and outcome /In Abstracts of the ICT-XI «Toxicology: Discovery Serving Society». Montreal, July 15-19th 2007. –P.209.
19. Яблочкин В.Д. Экспертное значение определения летучих продуктов горения неметаллических материалов при исследовании крови погибших на пожаре // Судебно-медицинская экспертиза. – 2000. – № 6. – С. 30.
20. Morikawa T. Evolution of hydrogen cyanide during combustion and pyrolysis // J. Combust. Toxicol. – 1978, – Vol.5, N 3. – P. 125-128.
21. Huggett C., Levin B.C. Toxicity of the pyrolysis and combustion products of poly-(vinyl chlorides): a literature assessment // Fire and materials. – 1987. – Vol.2 – P. 131-142.
22. Levin B.C., Paabo M., Gurman J.M., Harris S.E. Toxicology of Fire and Smoke / Inhalation Toxicology // Salem H, Katz S.A. – 2006. – P. 205-230.