

*Е.А. Кремез, Ю.А. Алексеева*  
**СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКАЯ ОЦЕНКА ОТРАВЛЕНИЙ  
ЛЕТУЧИМИ ПРОДУКТАМИ ГОРЕНИЯ**

*Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. А.М. Тетюев*

*Кафедра судебной медицины*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск  
Управление Государственного комитета судебных экспертиз по г. Минску*

*E.A. Kremez, Y.A. Alekseeva*  
**FORENSIC ASSESSMENT OF POISONING  
VOLATILE COMBUSTION PRODUCTS**

*Tutor: associate professor A.M. Tetyuev*

*Department of Forensic Medicine*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

*Office of the State Forensic Examination Committee for Minsk*

**Резюме.** В крови погорельцев из 100 случаев смертельная концентрация карбоксигемоглобина обнаружена у 29%. Из 66 случаев предположительного отравления цианидами положительными были 43. Одновременное их присутствие обнаружено у 11% из 27 случаев.

**Ключевые слова:** пожар, продукты горения, карбоксигемоглобин, цианиды.

**Resume.** In the blood of 100 cases of fire victims the lethal concentration of carboxyhemoglobin was found in 29%. Of the 66 cases of suspected cyanide poisoning, 43 were positive. Their simultaneous presence was detected in 11% of 27 cases.

**Keywords:** fire, combustion products, carboxyhemoglobin, cyanides.

**Актуальность.** В последние годы увеличивается количество пострадавших на пожарах, так в 2022 году в Беларуси погибло 627 человек, из них 14 детей. Гибель людей при пожарах наступает не только от воздействия угарного газа или высокой температуры, но и вследствие отравления другими высокотоксичными химическими соединениями, ввиду значительного изменения состава газовой среды пожара.

**Цель:** анализ структуры смертельных отравлений продуктами горения.

**Задачи:**

1. Рассмотрение различных продуктов горения, образующихся в зависимости от природы материала, которые могут присутствовать в атмосфере пожара.

2. Анализ токсичности и влияния продуктов горения на организм человека при воздействии различных доз и комбинаций.

3. Судебно-медицинская оценка полученных результатов лабораторных исследований на наличие карбоксигемоглобина, цианидов и других летучих соединений для установления причин смерти погорельцев.

**Материалы и методы.** Объект исследования – кровь от 169 трупов людей, обнаруженных после пожара. Для определения карбоксигемоглобина и цианидов исследование крови проводили спектрофотометрических методом.

**Результаты и их обсуждение.** Продукты, образующиеся в процессе горения, могут сильно различаться в зависимости от используемого материала. В течение

последних лет в строительство и ремонт зданий и домов интенсивно внедряются различные новые виды материалов, такие как синтетические полимеры. Многие из них содержат азот и галогены. При горении шерсти, полиэфирных и полиакриловых волокон, бумажно-слоистых пластиков, полиуретановых соединений, полистирола, материалов из полиуретана и капрона образуется цианистый водород. В атмосфере пожара при горении фенолсодержащих материалов могут образовываться бензол и другие летучие ароматические соединения, при горении хлорсодержащих материалов – хлористый водород. В случае пожара в производственных помещениях чаще выделяются окислы азота.

Термическое разрушение материалов может происходить при различных условиях, которые могут повлиять на то, насколько полным будет их распад и какой продукт горения будет образован. Первоначально, когда кислород в достатке, образование дыма и токсичных соединений невелико, при этом по мере развития пожара образуется больше токсичных продуктов. Уменьшение содержание кислорода, как правило, в замкнутых пространствах, приводит к образованию высоких доз монооксида углерода (CO), цианистого водорода (HCN), галогенов и других неорганических продуктов горения [6]. При пожарах, вызванных нефтепродуктами, маслами, жирами, материалами на основе целлюлозы, таких как дерево, хлопок и бумага, полимерами и пластиком могут образовываться органические компоненты дыма – акролеин, формальдегид, ацетальдегид и бутиральдегид, бензол, толуол [4].

Одним из важных факторов, который влияет на тип образования компонентов дыма, является природа материала, подвергшегося горению. На рисунке 1 представлена таблица, которая наглядно показывает вероятность образование различных токсичных газов из часто используемых материалов.

Материалы, подвергшиеся горению	Зона пожара	CO	HCN	HCL HBr HF	NO	SO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Акролеин Формальдегид	Фосген, аммиак
Полимерный материал	1-	+++	+++	+++	++	+	+	++	+
	2-	±	±	+	+	±	-	++	+
Материал из дерева	1-	++	-	-	+	-	-	++	-
	2-	-	-	-	±	-	-	+	-
Резина и шины	1-	+++	+	+	+	+++	+	++	+
	2-	±	±	+	±	+++	±	++	±
Масло, бензин	1-	++	-	-	-	±	-	++	-
	2-	-	-	-	-	±	-	++	-

Зона 1- местоположение в непосредственной близости от места возгорания;

Зона 2- местоположение за пределами источника пожара;

+++ - вероятно, присутствие в очень больших количествах;

++ - вероятно, присутствие в больших количествах;

+ - вероятно, будет присутствовать;

± - может присутствовать в малых количествах;

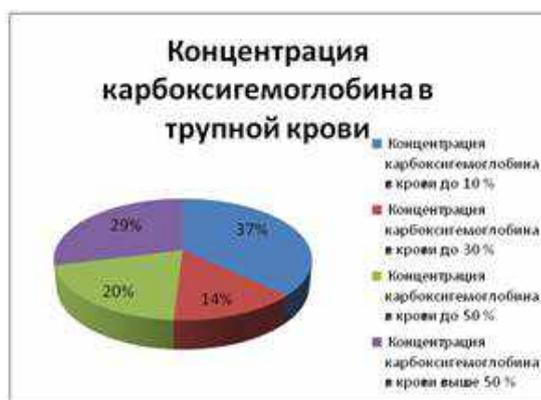
- присутствие маловероятно.

Рис. 1 – Опасные продукты горения, образующиеся в зависимости от используемого материала [8]

Угарный газ является наиболее распространенным продуктом горения в большинстве случаев пожара и образуется как при тлении, так и при пожаре с пламенем всех органических материалов [5, 7]. Основными источниками СО, встречающимися при отравлениях, являются домашние пожары (максимальная концентрация СО в воздухе составляет около 5 % в непосредственной близости от очага возгорания); неполное сгорание топлива горелки; использование нагревательного или кухонного оборудования с недостаточной вентиляцией или неправильным обслуживанием; выхлопные газы автомобилей [1], а также несчастные случаи на производстве.

Токсичность СО обусловлена снижением кислородной емкости крови в результате превращения гемоглобина в карбоксигемоглобин (СО-Нб). Процесс происходит вследствие конкуренции между O<sub>2</sub> и СО за участки связывания гема [5]. Основным фактором токсичности СО считается то, что сродство гемоглобина к СО примерно в 200-250 раз превышает сродство к O<sub>2</sub> [5, 6].

Смертельной концентрацией при отравлении угарным газом является содержание СО-Нб более 50-60% [1], что не представляет трудности для диагностики оксигемоглобиновой интоксикации и соответственно установления причины смерти (рисунок 2).



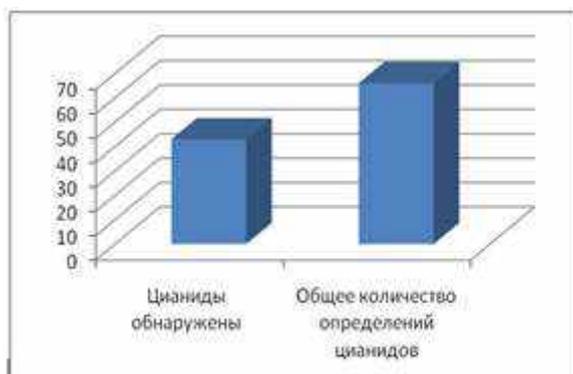
**Рис. 2** – Круговая диаграмма результатов исследования крови 100 трупов, обнаруженных в условиях пожара

Особое внимание привлекают случаи, в которых концентрация карбоксигемоглобина не является смертельной, то есть менее 30-40%. В таких случаях исследование на наличие цианид-ионов достаточно актуально.

Токсичность цианидов в 50 раз превосходит токсичность оксида углерода. После вдыхания HCN подвергается диссоциации в крови с образованием иона цианида, который связывается с цитохромоксидазой и ингибирует ее. Образуется комплекс цитохромоксидаза-цианид, в результате чего развивается цитотоксическая гипоксия. Цианистые соединения вызывают снижение коэффициента утилизации кислорода клетками в среднем на 80%, нарушая деятельность более чем 20 ферментных реакций. Поливалентность биохимических нарушений приводит к стремительному развитию токсического процесса и быстрой смерти пострадавшего. Токсическая концентрация цианид-ионов в крови составляет до 1,0 мг/л, летальная

концентрация – 1,1-53 мг/л [2, 3].

Токсический эффект на организм человека усиливается при совместном присутствии СО и цианидов. Следовательно, для установления причины смерти лиц, погибших при пожаре или обнаруженных на пепелище, исследуют кровь от трупов не только на наличие карбоксигемоглобина и СО, но и цианидов (рисунок 3).



**Рис. 3** – Диаграмма общего количества определений цианидов в крови, в том числе с положительным результатом

Как показывает практика, примерно у 40% погибших в очаге пожара обнаруживают повышенную концентрацию цианидов в крови. Данные литературы свидетельствуют, что при совместном присутствии СО и HCN в крови редко выявляют одновременно их высокие концентрации. Диаграммы на рисунке 4 показывают, что цианиды выявляются как при низких, так и при высоких концентрациях карбоксигемоглобина в крови.

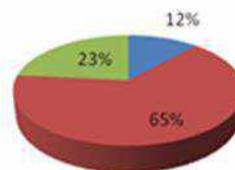
#### Случаи обнаружения цианидов в крови в сочетании с карбоксигемоглобином

- Концентрация карбоксигемоглобина в крови до 10 %
- Концентрация карбоксигемоглобина в крови до 30 %
- Концентрация карбоксигемоглобина в крови до 50 %
- Концентрация карбоксигемоглобина в крови выше 50 %



#### Случаи обнаружения цианидов в крови в сочетании с карбоксигемоглобином

- Карбоксигемоглобин обнаружен, цианиды не обнаружены
- Карбоксигемоглобин обнаружен, цианиды обнаружены
- Карбоксигемоглобин не обнаружен, цианиды обнаружены



**Рис. 4** – Круговые диаграммы результатов 100 случаев обнаружения цианидов в крови в сочетании с карбоксигемоглобином

Так же имеет смысл проводить исследования трупной крови погорельцев на содержание метгемоглобина и других органических соединений. Они обычно присутствуют в низких концентрациях и не могут вызвать острого неблагоприятного эффекта и стать основной причиной смерти, однако могут служить индикатором нахождения человека в очаге пожара или тления.

Критерием комбинированного отравления может явиться обнаружение в крови жертв пожара двух и более токсичных компонентов продуктов горения. При одновременном присутствии в крови карбоксигемоглобина и цианидов трудно выделить ведущий токсический компонент, поскольку между токсикометрическими показателями этих соединений существуют сложные взаимодействия.

**Выводы:** в последние годы, газовый состав пожара значительно видоизменился. В зависимости от состава материала, пострадавшего от пожара, в продуктах горения могут быть обнаружены монооксид углерода, цианиды, формальдегид, галогены, акролеин, фосген, аммиак и другие соединения серы и фосфора.

Наиболее опасными и токсичными газами, образованными в атмосфере пожара, являются угарный газ и циановодород. При их совместном присутствии они оказывают на организм человека аддитивный эффект.

Судебно-медицинская диагностика причины смерти людей, погибших в условиях пожара, должна базироваться не только на данных макро- и микроморфологических исследованиях, но и на результатах судебно-химического исследования, в первую очередь, на содержание карбоксигемоглобина и цианистого водорода в крови.

Наличие оксида углерода, цианидов и/или других токсичных соединений из состава продуктов горения в крови пострадавших на пожаре в токсикологически значимых концентрациях позволяет ставить диагноз комбинированного отравления продуктами горения, а при уровнях цианидов, достигающих смертельных, – отравление цианидами.

### Литература

1. Carbon monoxide poisoning / H. Kinoshita, H. Turkan, S. Vucinic et al. // Journal of Toxicology Reports. – 2020. – Vol. 7. – P. 169–173.
2. Clarke's Analysis of drugs and poisons [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – L.: 2004. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. Drug of chemical blood-level date / C. L. Winek, W. W. Wahba, T. W. Balzer et al. // Forensic science. – 2001. – Vol. 122. – P. 107–123.
4. Einhorn, I. N. Physiological and toxicological aspects of smoke produced during the combustion of polymeric materials / I. N. Einhorn // Environmental Health Perspectives. – 1975. – P. 163–189.
5. Hartzell, G. E. Overview of combustion toxicology / G. E. Hartzell // Toxicology. – 1996. – P. 7.
6. Norris, J. C. General and Applied Toxicology / J. C. Norris, B. Ballantyne. – L.: Macmillan-press, 1993. – P. 1915–1933.
7. Purser, D. A. Effects of carbon monoxide on behavior in monkeys in relation to human fire hazard / D. A. Purser, K. R. Berrill // Archives of Environmental Health. – 1983. – P. 15.
8. Wakefield J. C. A Toxicological Review of the Products of Combustion / J. C. Wakefield. – Chilton: National Radiological Protection Board, 2010. – 38 p.