

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЫМООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД СИБИРИ

**А.В. Брюханов, кандидат биологических наук;**

**П.А. Осавелюк, кандидат технических наук;**

**Е.В. Гуляева.**

**Сибирский филиал Санкт-Петербургского университета  
ГПС МЧС России**

Приводятся данные исследований коэффициента дымообразования (КДО) для основных лесообразующих древесных пород Сибири. В ходе проведенных исследований выявлено, что наибольшее выделение количества дыма характерно при сгорании образцов коры березы – около 600 м<sup>2</sup>/кг для режима пламенного горения и около 1200 м<sup>2</sup>/кг для режима тления. Различие в выделении дыма при разных режимах горения значительно варьируется в зависимости от группы лесных горючих материалов (ЛГМ): для хвой разница в количестве выделяемого дыма между пламенным горением и тлением в 4,3 раза, для веточек древесных пород без коры – 3,9 раза и для коры – 2 раза.

*Ключевые слова:* лесные пожары, природные пожары, эмиссии от природных пожаров, задымление от природных пожаров, коэффициент дымообразования (КДО)

## SMOKE PRODUCING CAPABILITY FOR MAIN WOOD SPECIES OF SIBERIA

**A.V. Brukhanov; P.A. Osavelyuk; E.V. Guliaeva.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

Our study considered smoke production coefficient (SPC) for main wood species of Siberia, and showed that birch bark produced the greatest smoke amounts: ca. 600 and 1200 m<sup>2</sup>/kg in flaming and smoldering combustion, respectively. Smoke production from smoldering combustion appeared to differ from that related to flaming combustion 4,3 times for needles, 3,9 times for woody species twigs without bark, and twice for bark.

*Key words:* forest fire, wildfire, emission of wildfire, smoke from wildfires, smoke production coefficient (SPC)

Ежегодно на территории Российской Федерации возникают десятки тысяч лесных, степных и торфяных пожаров, распространяющихся на площади в несколько миллионов гектаров. Государство несет колоссальные убытки от сгораемой на корню древесины, поврежденных частично или полностью населенных пунктов и коммуникаций, расположенных в лесных массивах. Но самое страшное – от природных пожаров гибнут люди.

Кроме непосредственного ущерба от повреждения огнем, экономика страны терпит существенные потери и от задымления атмосферы при природных пожарах. Задымленность воздуха от лесных, степных и торфяных пожаров создает большие проблемы в транспортной сфере (особенно в авиации), отрицательно сказывается на самочувствии и здоровье людей, находящихся в задымленном от пожаров районе и т.д.

Общий ущерб от задымления атмосферы, связанного с пожарами, для окружающей среды трудно оценить даже приблизительно. Одной из основных причин сложившейся ситуации является недостаточное количество статистических данных о вредном влиянии задымленности воздуха. Это связано с нехваткой, а иногда и полным отсутствием расчетных данных для различных регионов о количестве и составе эмиссий, выделяемых в атмосферу при лесных, степных и торфяных пожарах.

По данным Всероссийского центра медицины катастроф, при пожарах, возникших на территории России в наиболее пожароопасном 2002 г., только по двуокиси углерода нормы предельно допустимой концентрации были превышены от 1,5 до 5 раз, на протяжении времени от 0,5 до 1,5 месяцев для разных регионов страны [1]. Наиболее тяжелая ситуация наблюдалась при торфяных пожарах в Костромской, Московской, Читинской и Владимирской областях. Так, по официальным данным территориального центра медицины катастроф Владимирской области, в период пожаров 2002 г. на 9 % возросло обращений граждан по поводу болезней органов дыхания и на 16 % увеличилось число обострений у больных бронхиальной астмой.

Большая часть данных по составу и количеству эмиссий от природных пожаров, встречающихся в литературе, получены при полевых исследованиях и являются обобщенными для всего природного комплекса, характеризующего насаждение по основной древесной породе и доминирующему напочвенному покрову [2–9]. Сложность данных исследований приводит к тому, что детальные наблюдения проводятся довольно редко и не позволяют накопить большую статистическую базу данных по количеству выделяемого дыма для различных видов лесных горючих материалов.

Причиной, не позволяющей объединить различные данные по задымлению от пожаров в природных комплексах, является также различие в методике забора проб (высота забора, оборудование и т.д.).

Применение лабораторного метода исследования дымообразующей способности или коэффициента дымообразования для различных групп ЛГМ, подобного тому, который используется для определения КДО материалов, применяемых для изготовления стройматериалов и другой продукции для населения (различные полимеры, краски, лаки и т.д.), позволило бы накопить большую базу данных по исследуемому вопросу, пригодную для математического моделирования и анализа.

В связи с этим целью проводимых исследований являлась проверка пригодности существующей методики по экспериментальному определению коэффициентов дымообразования твердых веществ и материалов (применяемая преимущественно при сертификации стройматериалов) для расчета КДО лесных горючих материалов. В справочной литературе [11–12] приводится КДО только для древесины некоторых пород, произрастающих в европейской части России и наиболее часто используемых в домостроении, в пределах от 300 до 800 м<sup>2</sup>/кг. Однако, как показали наблюдения и публикации отечественных и зарубежных авторов, при лесных пожарах сгорает прежде всего не стволовая древесина, а кора деревьев, тонкие веточки и хвоя [13–17]. Именно эти части деревьев способствуют задымлению территории при обширных лесных верховых пожарах.

Коэффициент дымообразования ЛГМ определялся с помощью специальной установки (согласно ГОСТ 12.1.044–89) [18]. Фотометрическая система установки по определению КДО состоит из источника и приемника света. Источник света (гелий-неоновый лазер мощностью 2–5 мВт) размещен на верхней стенке камеры измерений, приемник света (фотодиод) расположен в днище камеры. Фотометрическая система должна обеспечивать

измерение светового потока в рабочем диапазоне светопропускания от 2 до 90 % с погрешностью не более 10 %.

Для соблюдения необходимой точности опыты проводились с десятикратной повторностью для каждой группы горючих материалов в двух режимах: тления и горения (рис. 1). Использовать газовую горелку, имеющуюся в составе установки КДО, для воспламенения лесных горючих материалов не приходилось, так как вся растительная органика в сухом состоянии является легкогоримый материалом и для ее воспламенения было достаточно нагрева от встроенных электроспиралей суммарной мощностью в 5 кВт.

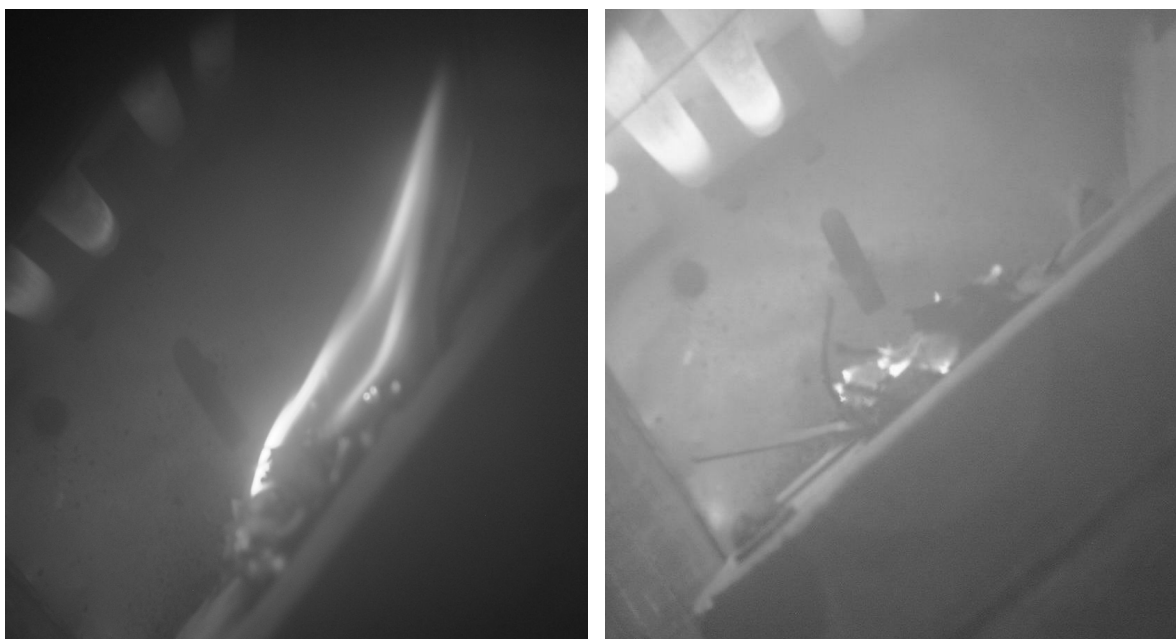


Рис. 1. Горение образцов в установке КДО в пламенной и беспламенной фазе

Для опытов по определению КДО выбирались веточки диаметром в 3–4 мм с корой, но без хвои; с хвоей и корой. Кора древесных пород, имеющих большую толщину (кедр, сосна и лиственница), делилась на пластинки толщиной 3–4 мм (для того, чтобы приравнять их к толщине пихтовой и березовой коры). Так как размер лотка для образцов в установке по определению КДО составлял 5x5 см, некоторые виды ЛГМ, превышающие этот размер, разрезались на более мелкие фракции (хвоя кедр, веточки и кора древесных пород).

Для автоматизации процесса снятия показаний был разработан программный продукт и создана система автоматизированного сбора данных для установки КДО, предназначенная для работы с микроконтроллером фирмы Advantech 4000 серии по интерфейсу RS232. Данная система обеспечивала циклическое получение физических величин до четырех раз в секунду с одновременной записью полученных данных на жесткий диск и отображением их в виде графиков (рис. 2). Перед каждым включением прибора проводилась калибровка установки.

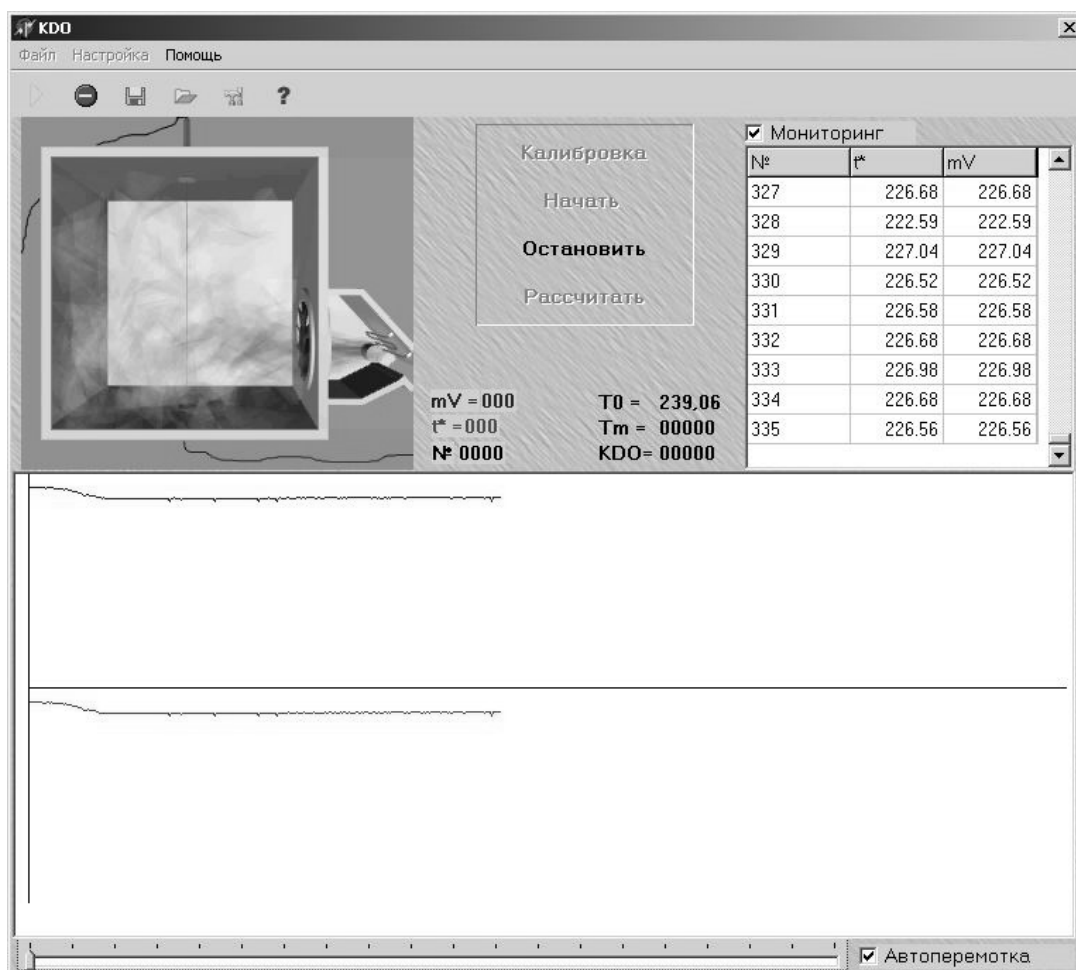


Рис. 2. Окно программы по автоматическому расчету коэффициента

Система позволяет автоматически рассчитать коэффициент дымообразования  $D_m$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  ( $\text{м}^2/\text{кг}$ ), по формуле:

$$D_m = \frac{V}{Lm} \ln \left( \frac{T_0}{T_{\min}} \right),$$

где  $V$  – вместимость камеры измерения,  $\text{м}^3$ ;  $L$  – длина пути луча света в задымленной среде,  $\text{м}$ ;  $m$  – масса образца,  $\text{кг}$ ;  $T_0$ ,  $T_{\min}$  – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %.

Среди основных возможностей системы можно выделить функцию генерации отчетов испытаний в форматах Microsoft Office документов (Word, Excel), автоматическую калибровку установки, визуализацию процессов испытания и возможность работы с данными предыдущих испытаний.

Программа была написана на языке Object Pascal в среде визуального проектирования Borland Delphi 7. В качестве формата для хранения показателей был использован Absolute Database, обеспечивающий требуемую функциональность и быстродействие, а также избавляющий от необходимости установки СУБД, сервера БД или их драйверов на локальном компьютере. Для отображения данных в графическом виде был специально создан компонент, позволяющий с требуемым быстродействием отображать поступающие данные, масштабировать их шкалу, выделять интервалы, определять периоды монотонности.

В ходе проведенных исследований выявлено, что коэффициент дымообразования для исследованных ЛГМ варьировал в пределах от 14 до 1218 единиц (рис. 3).

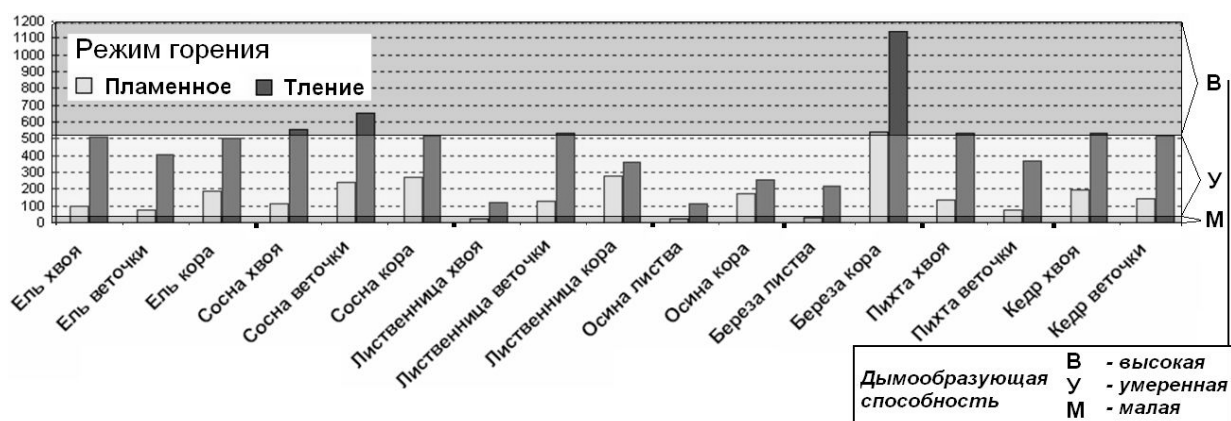


Рис. 3. Полученные значения коэффициента дымообразования для различных частей древесных растений

По полученным нами данным, наибольшее выделение количества дыма характерно при сгорании образцов коры березы – около 550 м<sup>2</sup>/кг для режима пламенного горения и около 1200 м<sup>2</sup>/кг для режима тления. Если рассматривать коэффициент по группам ЛГМ на рис. 3, то наибольшее количество дыма выделяется при сгорании хвои и коры, а наименьшее – при сгорании листвы и веточек.

Согласно ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов» значение коэффициента дымообразования следует применять для классификации материалов по дымообразующей способности. Различают три группы материалов:

- с малой дымообразующей способностью — коэффициент дымообразования до 50 м<sup>2</sup>/кг включительно;
- с умеренной дымообразующей способностью — коэффициент дымообразования свыше 50 до 500 м<sup>2</sup>/кг включительно;
- с высокой дымообразующей способностью — коэффициент дымообразования свыше 500 м<sup>2</sup>/кг.

В ходе проведенных экспериментов установлено, что подавляющее большинство исследованных образцов ЛГМ в режиме пламенного горения попадают в первую и вторую группу КДО, а в режиме тления во вторую и третью группу. Исключение составляет только кора березы, величина КДО которой при режиме пламенного горения в среднем составляет 540 м<sup>2</sup>/кг.

В ходе проведенных исследований выявлено, что при беспламенном режиме горения количество выделяемого дыма для разных групп ЛГМ увеличивается с 28 до 690 %, по сравнению с пламенном режимом. По нашим данным, наименьшее увеличение КДО при пламенном и беспламенном режимах зафиксировано для хвои лиственницы, (увеличение в 1,28 раза), а наибольшее для листвы березы (6,9 раз). По группам частей деревьев превышение показателя КДО для беспламенного режима горения над пламенным составило: для листвы в 5,88 раза; для хвои в 4,41 раза; для коры в 1,88 раза, для тонких веточек (древесина с корой) в 4,12 раза.

Сравнение этих же результатов для разных видов древесных пород позволяет говорить о том, что образцы различных частей хвойных деревьев имеют схожий показатель дымообразования (от 100 до 650 м<sup>2</sup>/кг при режиме тления и от 30 до 280 м<sup>2</sup>/кг при пламенном горении). Показатель дымообразования для различных частей осины минимальный из исследованной группы (от 28 до 185 м<sup>2</sup>/кг при пламенном горении и от 170 до 310 м<sup>2</sup>/кг при беспламенном) и березы максимальный (600 м<sup>2</sup>/кг при пламенном горении и 1200 м<sup>2</sup>/кг при беспламенном). Все это позволяет сделать вывод, что при верховых

пожарах в Сибири при прочих равных условиях (одинаковая пожарная нагрузка, интенсивность горения, влагосодержание ЛГМ, погодные условия и рельеф) наибольшее задымление территории будет характерно для березовых древостоев, среднее для светлохвойных (сосняки и лиственничники) и темнохвойных (ельники, пихтарники и кедрачи) и наименьшее для осиновых насаждений.

Широкое использование полученных данных в математическом моделировании для решения практических задач при оперативной оценке воздействия природных пожаров возможно лишь при наличии подробных карт ЛГМ (с размером пикселя 5–10 м<sup>2</sup>). Кроме того, чтобы построить хорошо работающую систему для прогноза риска по распространению пожара и шлейфа дыма от него, необходимо наличие оперативных метеоданных. Все перечисленные меры наряду с использованием методов космического мониторинга позволили бы давать оперативный прогноз о задымленности той или иной части территории страны, подверженной природным пожарам.

Также, на наш взгляд, весьма актуальным является проведение исследований по токсичности различных видов ЛГМ для живых существ, по аналогии с определением коэффициента дымообразования. Эти исследования в комплексе с исследованием дымообразующей способности растительных горючих материалов позволят иметь наиболее полную картину об угрозах от задымления при лесных, степных и торфяных пожарах.

### **Выводы**

1. Проведенные эксперименты показали, что существующая методика по экспериментальному определению коэффициентов дымообразования твердых веществ и материалов, применяемая для сертификации стройматериалов согласно ГОСТ 12.1.044-89, может успешно использоваться для расчета коэффициента дымообразования лесных горючих материалов.

2. Выявлено, что из всех образцов наибольшее выделение количества дыма характерно при сгорании образцов коры березы – около 600 м<sup>2</sup>/кг для режима пламенного горения и около 1200 м<sup>2</sup>/кг для режима тления. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что для пород деревьев, произрастающих в Сибири, при прочих равных условиях наибольшее видимое задымление территории будет характерно для березовых древостоев, среднее для хвойных и наименьшее для осиновых насаждений.

3. Беспламенный режим горения может увеличивать коэффициент дымообразования до семи раз и тем самым в значительной степени снижает оптическую видимость при пожарах по сравнению с пламенным режимом горения.

4. Полученные данные по коэффициентам дымообразования древесных пород в дальнейшем могут использоваться для решения практических задач в области мониторинга и оценке последствий ЧС, связанных с лесными пожарами, путем использования методов математического моделирования и интерполяции.

### **Литература**

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. ГН 2.1.6.695-98, Гигиенические нормативы, Минздрав России, Москва, 1998.

2. Ward D.E. Particulate matter emissions for fires in the palme to gallberry fuel type // *Forest science*. 1983. 29. № 4. P. 761–770.

3. Raison R.J., Khanna P.K., Woods P.V. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires // *Canadian Journal Forest Research*. 1985. 15. № 1. P. 132–140.

4. Radke L., D. Hegg, J. Lyons, C. Brock, P. Hobbs, R. Weiss, R. Rasmussen. Airborne measurement on smokes from biomass burning // *Aerosol and climate*. (Hobbs P. and McCormick, eds), A. Deepak Publishing. 1988.

5. Kasischke E., Cristensen N., Stocks B. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forest // *Ecological Applications*. 5 (2). 1995. P. 437–451.
6. Ivanova G.A., Conard S.G. Wildfire in Russian boreal forests-potential impacts of fire regime characteristics on emissions and global carbon balance estimates // *Environmental Pollution*. 1997. V. 98. N 3. P. 305–315.
7. Эмиссии крупного лесного пожара в Сибири / К.П. Куценогий [и др.] // *Сибирский экологический журнал*. 1996. Т. 3. № 1. С. 93–101.
8. Конард С.Г., Иванова Г.А. Дифференцированный подход к количественной оценке эмиссии углерода при лесных пожарах // *Лесоведение*. № 3. С. 28–35.
9. Иванов А.В., Чуркина Т.В. Аэрозоли при горении лесных горючих материалов в сосняке разнотравно-зеленомошном // *Ботан. исслед. в Сибири*, вып. 10. Красноярск. 2002, С. 109–116.
10. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. М.: Пожнаука, 2004. Ч. I. С. 713.
11. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. / А.Н.Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990. Ч. I. С. 496.
12. Влияние возраста древесины на ее пожарную опасность / Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков, Е.В. Сулейкин, Р.В. Дегтярев, Н.И. Тарасов // *Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: материалы III межвед. науч. практ. -конф.*, 17 апреля 2009 г. Екатеринбург: Уральск. ин-т ГПС МЧС России, 2009. Ч. 2. С. 89–93.
13. Курбатский Н.П. Лесные пожары и их последствия. Красноярск: Изд-во ИЛиД СО АН СССР, 1985. 139 с.
14. Цветков П.А. Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, ИЛ СО РАН, 2007. 252 с.
15. Фуряев В.В., Заблоцкий В.И., Черных В.А. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 2005. 160 с.
16. Davis K.P., Byram Y.M., Krumm W.R. Forest fire control and use. Mc Grow Hill Book company, Inc., New York, Toronto, London, 1959. 560 p.
17. Pyne S. J., Andrews P. L., Laven R. D. Introduction to wildland fire. N.Y.-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley & Sons, Inc., 1996. 769 p.
18. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции. М., 1991. С. 75–77.