

УДК 614.841.42

*Е.Л. Лобода, Д.П. Касымов,  
А.И. Фильков, В.В. Рейно, М.В. Агафонцев*

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОГРАФИИ\***

Коллективом кафедры физической и вычислительной механики Томского государственного университета совместно с коллегами из ИАО СО РАН уже более 20 лет проводятся исследования по распространению природных пожаров. В данной работе обобщены начиная с 2011 года основные результаты полунатурных экспериментов по изучению распространения природных пожаров, их воздействию на деревянные ограждения и применению термографии для их исследования.

### ***Опыт применения термографии в полунатурных полевых экспериментах***

В мае 2011 г. на БЭК ИОА СО РАН проводился эксперимент [1] для исследования распространения пожара и воздействия его на деревянные постройки и торфяную залежь. Для этого была выбрана экспериментальная площадка длиной 50 м и шириной 10 м. На ней размещались деревянные щиты высотой 1 м из досок (ель), которые имели размеры:  $1000 \times 100 \times 15$ ,  $1000 \times 100 \times 20$ ,  $1000 \times 100 \times 25$  и  $1000 \times 50 \times 25$  мм. Доски шириной 100 мм сбивались в сплошной щит, а доски  $1000 \times 50 \times 25$  мм сбивались с промежутками 50 мм, как забор из штакетника (рис. 1), также был установлен брус размерами  $700 \times 200 \times 200$  мм из сосны.

При помощи приборов поста мониторинга ИОА СО РАН определялся газовый состав продуктов горения, размеры дымовых частиц и их количественное распределение по размерам в одном литре воздуха.

Распространение фронта пожара и его структура в видимой области контролировались при помощи видеокамеры Sony DCR-DVD505E, в инфракрасной области – тепловизио-

---

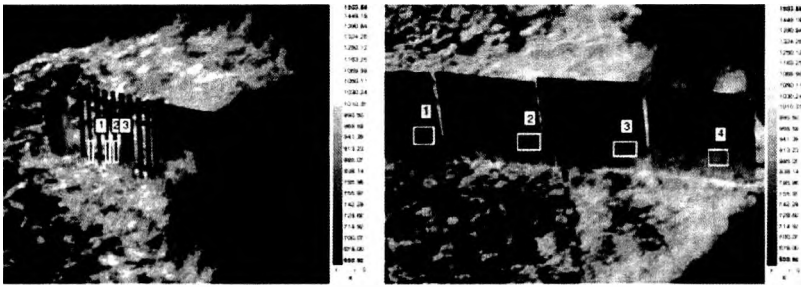
\*Работа выполнена за счет гранта Президента Российской Федерации № МК – 3885.2018.8, гранта РФФИ (проект 18-07-00548 А).

ров JADE J530SB (с частотой съемки 50 кадров в секунду) и Inframetrics-760. Тепловизор JADE J530SB использовался с дисперсионным фильтром, спектральный интервал которого составлял 2,5–2,7 мкм. Тепловизор Inframetrics-760 имел рабочий диапазон длин волн от 3 до 5 мкм. Для калибровки показаний тепловизоров дополнительно проводились температурные измерения при помощи гребенок термопар ХА, расположенных в продольном и вертикальном направлениях относительно выбранной полосы исследований. Термопары крепились на вертикальных стойках с шагом 0,3 м и располагались на удалении 0,2 м от стоек по горизонтали в направлении, параллельном фронту пожара. Тепловизор JADE J530SB и видеокамера располагались на автовышке на высоте 20 м над поверхностью земли. На рис. 2 показано воздействие фронта степного пожара на деревянные щиты.



**Рис. 1.** Площадка перед началом эксперимента

Из рисунка видно, что температура поверхности штакетника достигает значений 826–870 К, что согласуется с работой [2]. На рис. 2 приведена термограмма щита из досок толщиной 25 мм непосредственно перед воспламенением забора.



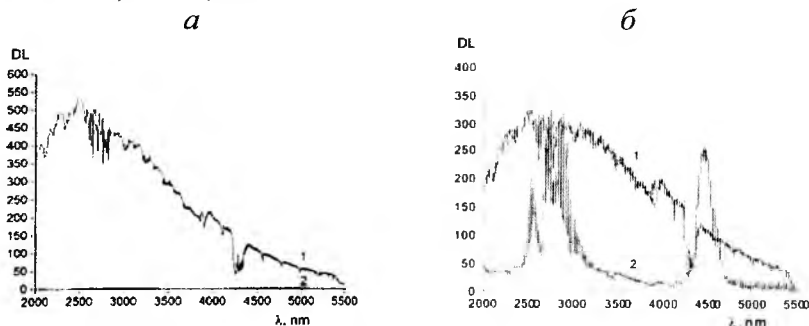
**Рис. 2. Термограммы деревянных щитов во время движения фронта пожара**

В результате эксперимента определены характеристики и условия воспламенения деревянных ограждений, а также даны практические рекомендации по минимизации вероятности перехода полевого пожара на деревянные конструкции. Было обнаружено, что наибольшие повреждения вследствие воздействия пламени зафиксированы с обратной стороны деревянных конструкций, при этом наименьшие повреждения получил щит из штакетника продуваемого типа.

***Лабораторные эксперименты по оценке спектра излучения пламени в целях выбора подходящих рабочих спектральных интервалов***

Известно, что при горении растительных горючих материалов (РГМ) излучение основных газообразных продуктов горения в ИК диапазоне сосредоточено в интервале длин волн 2,0–5,5 мкм [3]. Значительная доля излучения продуктов горения приходится на излучение паров воды, оксида и диоксида углерода [4]. В результате проведенного исследования авторами были получены усредненные по времени спектры излучения пламени горючего материала и спектр излучения АЧТ при температуре, соответствующей максимальной температуре в пламени рассматриваемого горючего материала (рис. 3). На рис. 3, а (пропан-бутановая смесь) видно, что при горении чистого вещества спектр излучения пламени соответствует полосам излучения основных продуктов горения и промежуточных продуктов реакции окисления (вода, СО и СО<sub>2</sub>). В то же время при горении растительных горючих материалов химический состав пламени значительно более

сложный и присутствует конденсированная фаза (сажа), что проявляется в наличии излучения пламени в интервале длин волн от 3,0 до 4,0 мкм.



**Рис. 3. Спектр излучения АЧТ (кривая 1) и пламени (кривая 2), образующегося при горении:**

***а* – пропан-бутановой смеси; *б* – древесины сосны**

Очевидно, что применение узкополосных оптических фильтров позволяет производить измерения по излучению соответствующего продукта горения, тем не менее следует иметь в виду, что тепловизоры калибруются по излучению АЧТ, а в спектральном интервале 4,0–5,0 мкм интенсивность излучения газообразных продуктов горения превышает интенсивность излучения АЧТ при той же температуре.

В 2011 году на базовом экспериментальном комплексе (БЭК) ИОА СО РАН [1] были получены данные о составе газообразных компонентов, выбрасываемых в атмосферу при широкомасштабном степном пожаре (см. таблицу).

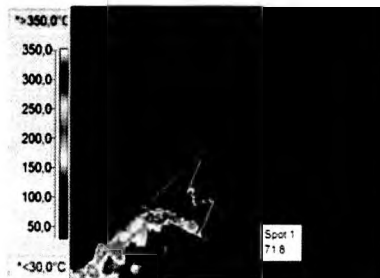
Из таблицы видно, что излучение основных газообразных продуктов горения находится в спектральном интервале от 3,0 до 5,0 мкм, а с учетом излучения паров  $H_2O$  – в более широкой полосе частот 2,0–5,0 мкм. Поэтому для исследования процессов пламенного горения схожих горючих материалов следует учитывать спектр излучения пламени и применять тепловизоры средневолнового ИК диапазона (2–5 мкм) с узкополосными оптическими фильтрами, исходя из стоящей перед исследователем задачи.

Следует отметить, что в диапазоне 8–12 мкм наличие дыма или дымовой завесы слабо влияет на регистрацию и наблюдение

ние нагретых объектов (рис. 4, *a*). Поэтому применение этого спектрального интервала в тепловизорах, установленных на борту летательных аппаратов, позволяет пилотам авиалесоохраны наблюдать кромку пожара сквозь густой дым (рис. 4, *б*) и принимать обоснованные решения о высадке пожарного десанта за кромку для тушения пожара или локального применения средств тушения.

**Основные газообразные компоненты, образующиеся при горении растительных горючих материалов и полосы их поглощения**

Газообразный продукт горения	Интервал длин волн $\Delta\lambda$ , мкм	Величина поглощения газов, %	Ширина спектрального интервала на уровне 0,5	Соотношение газа при пожаре отн. норм. атмосферы
Углекислый газ $\text{CO}_2$	4,27÷4,24	80	4,2÷4,33	550/400 ppm
Угарный газ CO	4,6; 4,72; 4,76	70	4,54÷4,8	10/1 мкг/м <sup>3</sup>
Сернистый газ $\text{SO}_2$	3,98 ÷ 4,02	—	—	128/5 мкг/м <sup>3</sup>
Окись азота NO	3,42	10	—	150/8 мкг/м <sup>3</sup>
Закись азота $\text{N}_2\text{O}$	3,42	30	—	150/5 мкг/м <sup>3</sup>
Метан $\text{CH}_4$	3,31	50	—	1,88/1,51 ppm

*a**б*

**Рис. 4. Изображение лесных пожаров (*a*); термограмма кромки пожара (*б*)**

Обобщая опыт многолетних исследований коллектива кафедры физической и вычислительной механики ТГУ и Института оптики атмосферы ОС РАН, можно сделать вывод, что для детектирования, мониторинга и борьбы с природными пожарами оптимальным решением является использование мультиспектральных устройств, позволяющих

регистрировать пожар в средневолновом и длинноволновом диапазонах. Это даст возможность не только регистрировать сам фронт пожара, но и обнаруживать точечные очаги горения и горящие частицы, образуемые фронтом пожара.

### Литература

1. Натурные экспериментальные исследования воздействия полевого пожара на деревянные ограждения и слой торфа / А.М. Гришин, А.И. Фильков, Е.Л. Лобода, В.В. Рейно, В.Т. Кузнецов, Д.П. Касымов, А.С. Якимов, С.М. Андреюк, А.И. Иванов, Н.Д. Столярчук, И.С. Ануфриев, Ю.А. Аникин, И.В. Савченко, Р.Н. Абдуллаев // *Пожарная безопасность*. 2013. № 3. С. 52–58.

2. *Кузнецов В.Т., Фильков А.И.* Воспламенение различных видов древесины потоком лучистой энергии // *Физика горения и взрыва*. 2011. Т. 47, № 1. С. 74–79.

3. *Лобода Е.Л., Рейно В.В., Агафонцев М.В.* Применение термографии при исследовании процессов горения. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2016. 80 с.

4. *Лобода Е.Л., Рейно В.В., Агафонцев М.В.* Выбор спектрального интервала для измерения полей температуры в пламени и регистрации экранированных пламенем высокотемпературных объектов с применением методов ИК-диагностики // *Известия вузов. Физика*, 2015. Т. 58, № 2. С. 124–128.

\*\*\*

**Лобода Е.Л.** – заведующий кафедрой, доктор физико-математических наук, доцент; **Касымов Д.П.** – заведующий учебной лабораторией, доктор физико-математических наук, доцент. E-mail: denkasymov@gmail.com (Томский государственный университет).

Адрес: просп. Ленина, д. 36, г. Томск, 634050, Россия.

**Фильков А.И.** – старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук (University of Melbourne, School of Ecosystem and Forest Sciences).

Адрес: Water St., Creswick, VIC, 3363, Australia.

**Рейно В.В.** – старший научный сотрудник (Институт оптики атмосферы СО РАН (ИОА СО РАН)).

Адрес: пл. Академика Зуева, д. 1, г. Томск, 634055, Россия.

**Агафонцев М.В.** – инженер учебной лаборатории, аспирант (Томский государственный университет).

Адрес: просп. Ленина, д. 36, г. Томск, 634050, Россия.