

PROCEEDINGS OF SPIE

# ***27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics***

**Gennadii G. Matvienko**  
**Oleg A. Romanovskii**  
*Editors*

**5–9 July 2021**  
**Moscow, Russian Federation**

*Organized by*

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)  
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS (Russian Federation)  
M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics RAS (Russian Federation)  
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Russian Federation)  
V.M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS (Russian Federation)

*Sponsored by*

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation)  
"Atmosphere" an Open Access Journal by MDPI (Switzerland)  
SOLAR LASER SYSTEM (Belarus)  
Photonics Journal (Russian Federation)

*Published by*  
SPIE

**Volume 11916**  
**Part One of Three Parts**

Proceedings of SPIE 0277-786X, V. 11916

SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

# **КОНФЕРЕНЦИЯ С**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА ГОРЯЩИХ ЧАСТИЦ НА СЛОЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Касымов Д.П.<sup>1,2</sup>, Агафонцев М.В.<sup>1,2</sup>, Рейно В.В.<sup>2</sup>, Лобода Е.Л.<sup>1,2</sup>,  
Орлов К.Е.<sup>1</sup>, Мартынов П.С.<sup>1,2</sup>, Перминов В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: denkasymov@gmail.com, kim75mva@gmail.com, reyno@iao.ru, loboda@mail.tsu.ru,  
marty Pavel@bk.ru, humermor@yandex.ru, ya.vladperminov2013@yandex.ru

В настоящее время существует множество математических моделей лесных пожаров, но только небольшая их часть учитывает вклад горящих и тлеющих частиц, которые являются одной из главных причин распространения пожаров во всем мире. В работе рассматривается серия экспериментов по изучению генерации и переноса частиц природного происхождения, а также их взаимодействию с напочвенным покровом, на уникальной установке. В качестве измерительного оборудования использовалась ИК-камера JADE J530SB с набором узкополосных фильтров. Используя оригинальные методы и алгоритмы обработки теплового изображения, проанализированы некоторые характеристики при переносе горящих частиц, время воздействия до появления очага горения по слою, рассчитано среднее время генерации частиц в зависимости от интенсивности пожара.

**Введение.** Пожары становятся все более серьезной проблемой мирового значения. По всему земному шару существует множество примеров крупных пожаров. Лесные пожары, распространяющиеся на городские территории, называемые природно-урбанизированными пожарами, становятся все более распространенными на многих континентах мира [1]. Общей чертой быстрого распространения крупных пожаров является тепловой поток от огня и генерация новых, гораздо меньших горючих фрагментов из исходного источника пожара, называемых горящими и тлеющими частицами, которые поднимаются и переносятся ветром [2]. Именно поэтому необходимо иметь спектр различных моделей или подходов, с целью прогнозирования возможных очагов пожара и для дальнейшего предотвращения катастроф. В данной работе будет освещен ряд экспериментов по моделированию «огненного дождя», представляющего собой горящие и тлеющие частицы природного происхождения. В частности, экспериментально исследовано воздействие на слой растительных горючих материалов потока горящих частиц, который обеспечивался с помощью генератора горящих частиц собственной оригинальной разработки [3].

**Экспериментальная часть.** Эксперименты проводились в Большой аэрозольной камере (БАК) Института оптики атмосферы Сибирского отделения РАН. Объем камеры составляет 2000 кубических метров. Работа в этой камере позволяет избавиться от воздействия ветра,

который неизбежно присутствует при работе в полевых условиях и оказывает влияние на характеристики летящих частиц. Для регистрации полей температуры была использована инфракрасная камера JADE J530SB с применением оптического фильтра 2,5–2,7 мкм с фокальным расстоянием 25 мм и размером матрицы 320×240 пикселей, а также использовалась видеокамера Canon LEGRIA HF R86 и экшн-камера Sony FDR X3000. Для инфракрасной камеры использовались заводские калибровки для интерпретации зарегистрированного излучения в значение температуры. Выбор фильтра обусловлен спектром излучения объекта исследования [4].

Эксперимент проводился следующим образом. На подстилающей поверхности в зоне наибольшей концентрации частиц располагался короб, наполненный грунтом, с заранее подготовленным равномерным слоем растительного горючего материала (хвоя сосны, листва, лесной опад) плотностью 0,2–0,3 кг/м<sup>2</sup>, который укладывался на грунт. Размер короба составлял 1,1×2 м. Фотография экспериментальной площадки представлена на рисунке 1.



*а*



*б*



*в*

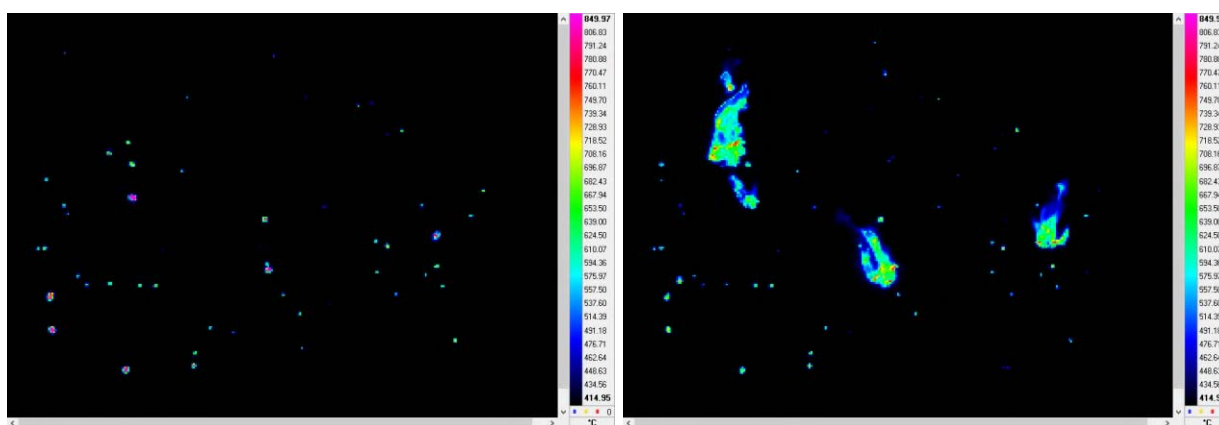
Рисунок 1 – Экспериментальная площадка: *а* – общий вид перед экспериментом; *б* – регистрация процесса переноса частиц и падения на подстилающую поверхность; *в* – съемка короба с напочвенным покровом

В качестве горящих частиц были использованы древесные пеллеты (древесные топливные гранулы). Диаметр древесных пеллет составил 8 мм, длина гранул от 5 до 10 мм. Для оценки количества частиц, имеющих зажигательный потенциал, перед началом эксперимента производилось взвешивание образцов (в настоящем эксперименте рассматривалась масса 100

г), а также подсчет (658-700 шт) их количества перед загрузкой в бункер генератора. Далее происходил процесс генерации и падение горящих и тлеющих частиц на короб, при постоянной съемке с трех камер: инфракрасная камера и видеокамера устанавливались с учетом регистрации во время экспериментального напочвенного покрова и падающих на него частиц, вторая видеокамера располагалась сбоку и снимала непосредственно процесс генерации и транспорта частиц.

**Результаты экспериментов.** По результатам проведения экспериментов была получена серия тепловизионных файлов, на которых запечатлен процесс генерации частиц, дальнейшая обработка которых осуществлялась с использованием программного обеспечения «Altair». Температурный массив данных впоследствии обрабатывался с помощью программного комплекса для детектирования и отслеживания траектории характеристик горящих и тлеющих частиц оригинальной разработки [5]. Это позволило установить некоторые важные характеристики частиц, а именно: для пеллет диапазон изменения температуры составил 297–529 °С; скорость менялась в интервале 1–5,9 м/с; диапазон изменения регистрируемой площади поверхности пеллет составил 8–38 мм<sup>2</sup>; скорость генерации составила 19–96 частиц/с в зависимости от исходного размера частиц.

В результате были получены последовательности термограмм, характеризующих тепловой фон при горизонтальной генерации (Рисунок 2).



зависимости от количества частиц, а также при различных параметрах съемки камерами высокого разрешения в видимом и инфракрасном диапазоне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Проект № 20-71-10068). Техническая поддержка исследований осуществлялась в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. *Caton S.E., Hakes R.S.P., Gorham D.J. et al.* Review of Pathways for Building Fire Spread in the Wildland Urban Interface Part I: Exposure Conditions // *Fire Technol.* 2017. V. 53. P. 429–473.

2. *Thomas J, Mueller E, Santamaria S, Gallagher M, El Houssami M, Filkov A, Clark K, Skowronski N, Hadden R, Mell W, Simeoni A, et al.* Investigation of firebrand generation from an experimental fire: Development of a reliable data collection methodology // *Fire Safety Journal.* 2017.

3. *Fernandez-Pello.* Wildland fire spot ignition by sparks and firebrands // *Fire Safety Journal.* 2017. V. 91. P. 2–10.

3. Патент РФ на полезную модель № 183063. Генератор горящих и тлеющих частиц для плоховентилируемых помещений / *Касымов Д.П., Перминов В.В., Фильков А.И., Агафонцев М.В., Рейно В.В., Лобода Е.Л.* Дата регистрации 22.06.2020.

4. *Лобода Е.Л., Агафонцев М.В., Рейно В.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. № 2. Т. 58. С. 124-128.

5. *Проханов С.А., Агафонцев М.В., Касымов Д.П., Фильков А.И., Рейно В.В., Орлов К.Е.* Использование нейронных сетей для детектирования и определения характеристик горящих частиц // В сборнике: Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии. Труды XX Международной конференции. под ред. проф. В.П. Гергеля. Нижний Новгород, 2020. 315-318 с.