

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА АТМОСФЕРУ В УСЛОВИЯХ ПОЛИГОНА: ОПЫТ, ПРАКТИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ

Агафонцев М.В., Лобода Е.Л., Касымов Д.П., Рейно В.В., Лобода Ю.А., Луценко А.В.,
Мартынов П.С.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

E-mail: kim75mva@gmail.com, loboda@mail.tsu.ru, denkasymov@gmail.com, reyno@ioa.ru,
ysenchurova@yandex.ru, lu_av@iao.ru, martypavel@bk.ru

В докладе представлены результаты многолетних экспериментальных исследований модельных очагов пожаров в полунатурных условиях на территории Базового экспериментального комплекса ИОА СО РАН. Дано описание ключевых результатов исследований характеристик фронта степного и верхового пожаров и их влияние на локальные характеристики атмосферы. Дается описание оригинальных методов исследования и применения бесконтактных средств измерений, в том числе оригинальной методики ИК термографии фронта пожара и определения характеристик турбулентности в пламени. Установлено, что вследствие распространения модельного пожара происходит формирование индуцированной атмосферной турбулентности, проявляющееся в изменении структурной характеристики флуктуаций показателя преломления, изменении локальных метеопараметров, выброс в атмосферу газообразных и конденсированных продуктов горения. Установлено, что в результате горения в окрестности эксперимента преобладают фракции аэрозолей с диаметром частиц менее 0.65 мкм, а выброс конденсированных продуктов горения в атмосферу совместно с формированием индуцированной атмосферной турбулентности могут лечь в основу способа дистанционного обнаружения местоположения очага пожара.

Природные пожары ежегодно происходят во всем мире и на территории РФ в различных климатических зонах от степей до тундры. Зачастую крупные природные пожары могут приводить к возникновению ЧС с угрозой перехода пожаров на урбанизированные территории. Угрозу жизни и здоровью населения представляет не только фронт пожара, характеризующийся высокими температурами, но и выброс газообразных и конденсированных продуктов горения, которые при определенных концентрациях приводят к росту заболеваний и смертности населения. Очевидно, что крупные природные пожары в результате интенсивного тепловыделения оказывают влияние на атмосферные процессы, приводят к изменениям ландшафта, биогеоценозов и пр.

В докладе представлена информация о многолетнем экспериментальном моделировании природных пожаров в полунатурных условиях, которые проводились творческим коллективом кафедры физической и вычислительной механики ТГУ и ИОА СО РАН в период с 2008 по 2024 гг. на территории Базового экспериментального комплекса Института оптики атмосферы СО РАН.

Для моделирования степных и верховых пожаров необходимо выполнить следующее условие:

$$L \gg d \gg d_f,$$

где L – длина экспериментальной полосы, d – ширина экспериментальной полосы и d_f – глубина фронта горения.

Учитывая приведенное соотношение для проведения экспериментов формировались площадки различного размера: от 5x3 м до 50x10 м, на которых моделировались степные и верховые лесные пожары. Для моделирования верхового пожара реконструировался полог леса, который формировался из сосен, спиленных при проведении рубок ухода с естественным влагосодержанием. Зажигание крон деревьев осуществлялось путем перехода низового пожара на модельные подрост и кустарник с дальнейшим формированием верхового пожара. Это позволяло осуществлять регистрацию процесса перехода низового пожара в верховой. При проведении экспериментов использовался разнообразный набор оборудования: для регистрации полей температуры в пламени применялись ИК камера JADE J530SB (2.5-5.0 мкм), ИК камера Inframetrics-760 (3-5 мкм) и набор термопар типа ХА с диаметром спая 500 мкм, метеопараметры измерялись ультразвуковыми метеостанциями АМК-03, размещенными на разных высотах от 3 до 10 м, концентрации аэрозоля измерялись датчиками PMS 7003, размещенными как стационарно, так и на борту БПЛА, газовый состав регистрировался с помощью оборудования [1].

Применение ИК камер позволило существенно облегчить и упростить процедуру регистрации поля температуры во фронте горения, тем не менее применение ИК камер сопряжено с рядом фундаментальных трудностей: необходимо учитывать спектр излучения пламени и определять эффективный коэффициент излучения. Спектры излучения пламени при горении ряда горючих материалов и рекомендации по выбору спектрального диапазона исследований представлены в [2]. Согласно [2], для регистрации поля температуры и структуры течения в пламени наиболее подходящим является узкий спектральный интервал 2.5-2.7 мкм, где присутствуют полосы излучения основных газообразных продуктов горения. Корректировка эффективного коэффициента излучения осуществлялась при помощи гребенок термопар, размещенных на разной высоте. В [2] описан алгоритм корректировки эффективного коэффициента излучения.

Благодаря хорошему пространственному разрешению ИК камеры и достаточной скорости регистрации (более 25 кадров/сек) представляется возможность изучения и анализа структуры поля температуры в пламени. На основе методики [3] осуществлялась оценка характеристик турбулентности и характерных масштабов. На основе измерений флуктуации температуры

воздуха, измеряемых с частотой до 70 Гц, встроенное программное обеспечение метеостанций АМК-03 позволяло получить структурную характеристику флуктуаций показателя преломления C_n^2 .

На рис. 1 показана фотография распространения фронта степного пожара на экспериментальном участке размерами 50x10 м.



Рисунок 1 – Типичное изображение распространения фронта степного пожара

Интенсивное тепловыделение во фронте горения, сопровождающееся интенсивными турбулентными процессами, вносит возмущения в локальные метеопараметры и процессы переноса в воздухе. Установлено, что в окрестности очага горения на высотах до 10 м температура воздуха возрастает на 1-3 градуса и сопровождается пульсациями с разной частотой, кроме того наблюдается изменение абсолютной влажности воздуха и рост вертикальной компоненты скорости ветра. Очевидно, что в случае крупных природных пожаров над фронтом пожара формируется интенсивная конвективная колонка, сопровождающаяся существенным ростом вертикальной компоненты скорости ветра, что в свою очередь вызывает рост горизонтальной скорости ветра в окрестности пожара, который в свою очередь интенсифицирует доступ окислителя в зону горения. Это явление было названо проф. А.М. Гришиным как «собственный ветер». Анализ спектров пульсаций температуры воздуха и оценка масштабов индуцированной атмосферной турбулентности в окрестности очага горения представлен в [4]. Эти турбулентные процессы проявляются в существенном увеличении величины C_n^2 в окрестности пожара (рис. 2).

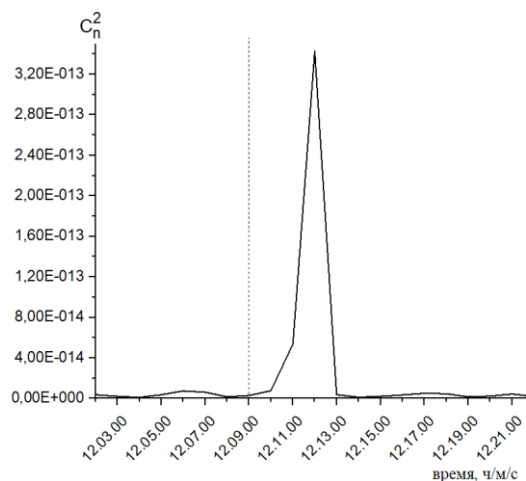


Рисунок 2 –Изменение структурной характеристики показателя преломления

Следует отметить, что в результате горения в атмосферу при природных пожарах выбрасывается значительное количество конденсированных продуктов горения (дым, сажа) и газообразных продуктов горения. В работе [5] приведены результаты измерений газового состава при возникновении природного пожара. В конденсированных продуктах горения при природных пожарах доминирует мелкодисперсная фракция с диаметром частиц меньше 0.65 мкм, которая оказывает существенное влияние на состояние здоровья человека, а наибольшая концентрация этих частиц наблюдается на высотах до 20 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН. Работа проведена с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера».

Литература

1. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 53–61.
2. Лобода Е.Л., Рейно В.В., Агафонцев М.В. Применение термографии при исследовании процессов горения. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2016. – 80 с.
3. Loboda E.L., Matvienko O.V., Vavilov V.P., Reyno V.V. Infrared thermographic evaluation of flame turbulence scale // Infrared physics and technology. 2015. Vol. 72. P. 1–7.
4. Лобода Е.Л., Луценко А.В., Касымов Д.П., Агафонцев М.В., Колесников И.А. Влияние модельного пожара на характеристики турбулентности в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 2023. Т. 36, № 10. С. 854–860.
5. Лобода Е.Л., Касымов Д.П., Агафонцев М.В., Рейно В.В., Гордеев Е.В., Тараканова В.А., Мартынов П.С., Орлов К.Е., Савин К.В., Дутов А.И., Лобода Ю.А. Влияние малых природных пожаров на характеристики атмосферы вблизи очага горения // Оптика атмосферы и океана 2020. Т. 22, № 10. С. 818-823