Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2022 г. по 30.06.2023 г.

по проекту **«Среднемасштабные исследования влияния различных видов источников зажигания на условия возникновения и распространения природных пожаров с применением современных методов термографии и математического моделирования»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 20-71-10068

Руководитель: Касымов Денис Петрович, канд физ.-мат. наук

1. На территории Базового экспериментального комплекса (БЭК) ИОА СО РАН проведены полунатурные эксперименты по переходу низового лесного пожара на модельный полог леса, сконструированный из небольших деревьев и кустарника. В результате проведения экспериментов получен набор экспериментальных данных о структуре пламени в ИК-диапазоне, последовательном переходе низового пожара на кроны деревьев и формирование верхового пожара. В результате применения методов ИК термографии и оригинальной методики определения масштабов турбулентности в пламени установлено, что пламя при верховом пожаре существенно нестационарно и в нем преобладает крупномасштабная турбулентность с характерными масштабами 20–64 мм. При регистрации изменения метеопараметров и характеристик атмосферы, отражающих турбулентные процессы в ней, установлено, что вследствие протекания верхового модельного пожара происходит существенный рост значений структурных показателей изменения показателя преломления Cn2 и пульсаций температуры воздуха CT2. В результате измерения изменения аэрозольного состава атмосферы в окрестности модельного верхового пожара установлено, что в продуктах горения преобладают частицы с диаметром 0.3-0.5 мкм, концентрация которых более чем в 2 раза превышает концентрацию частиц с диаметром больше 0.5 мкм. Следует отметить, что наибольшая концентрация этих частиц наблюдается на высоте от 10 до 20 м. В результате экстраполяции данных о переносе аэрозолей, состоящих из конденсированных продуктов горения, определено, что концентрация аэрозолей с диаметром частиц 0.3-0.5 мкм при модельном очаге верхового пожара превышает фоновые значения на расстояниях до 2000 м от очага горения.

2. В аналогичной вышеописанному пункту постановке проведения эксперимента проведена серия полунатурных экспериментов по возникновению верхового лесного пожара в результате воздействия модельного потока горящих частиц с помощью установки «Генератор горящих и тлеющих частиц» (ГГЧ). Для проведения экспериментов в условиях полигона был смоделирован полог леса, состоящий из небольших деревьев (сосны высотой до 4–5 м, 2-3 яруса по высоте). В результате установлена последовательность событий, приводящая к возникновению верхового пожара в результате воздействия потока горящих частиц. Для возникновения верхового пожара на деревьях с естественным влагосодержанием необходимо

наличие низового пожара, а возникновение верхового пожара на сухостое может происходить без сопутствующего низового пожара. Этот факт следует учитывать при формировании оценки пожарной опасности на территориях, где уже был в текущем пожароопасном периоде низовой пожар. Опытным путем оценены время воздействия и суммарный запас энергии потока горящих и тлеющих частиц, необходимые для возникновения верхового пожара на деревьях с естественным влагосодержанием, а также на сухостое. Время воздействия не менее 25 с (соответствует количеству частиц, попавших на кроны деревьев, подрост и подстилку не менее 73 шт/м^2) с суммарным запасом энергии 3869 кДж/м^2 в случае естественного влагосодержания; время воздействия не менее 8 с (соответствует количество частиц, попавших на кроны деревьев, подрост и подстилку не менее 25 шт/м^2) с суммарной поверхностной плотностью запаса энергии 1280 кДж/м^2 – в случае сухостоя.

3. Проведено численное моделирование зажигания древесины в результате теплового воздействия различной продолжительности ансамблем горящих частиц. Определено, что для частиц малых размеров, запасенного в них тепла оказывается недостаточным для инициирования процесса зажигания. Если размеры частицы достигают критического значения, то в прилегающей к ней области начинается процесс пиролиза. Если размеры частицы достаточно большие, то после зажигания слоя древесины возникает режим пламенного горения в газовой фазе.

Критический объем поджигающей частицы зависит от соотношения длин ее сторон и ориентации частицы по потоку. Проведенные расчеты показывают, что минимальным для инициирования зажигания поверхности объемом обладают частицы с квадратным горизонтальным сечением. Для частиц с прямоугольным горизонтальным сечением величина критического объема увеличивается, тем больше, чем сильнее отношение отличается от единицы. При этом для частиц, ориентированных вдоль потока, величина критического объема выше, чем для частиц, ориентированных поперек потока.

В результате проведенных исследований получена зависимость критического времени зажигания слоя древесины в зависимости от размеров частиц, а также расстояния между ними. Полученная зависимость является важной для оценки условий воспламенения поверхности древесного слоя. С уменьшением размеров частиц зажигание древесины возможно при уменьшении расстояния между частицами. При этом зажигание небольшими частицами возможно только при увеличении их количества.

С увеличением размеров частиц, режим зажигания становится возможным при большем времени задержки, а с увеличением расстояния между частицами зажигание древесины возможно при уменьшении времени задержки зажигания.

Проведено сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными, полученными на предыдущем этапе выполнения проекта, а именно – получено качественное и количественное согласование результатов по временам задержки зажигания поверхности слоя древесины в результате воздействия частиц при наличии воздушного потока в зоне их

аккумуляции. Кроме того качественное согласование наблюдается и в случае анализа характерных времен прогрева древесины, а также условий теплообмена между частицами и слоем древесины при изменении расстоянии частиц и их геометрических размеров.

4. Проведена систематизация экспериментальных данных и их анализ, сформулированы основные выводы и результаты выполнения проекта. Полученные за период выполнения проекта результаты расширяют знания о влиянии природных пожаров на характеристики атмосферы (турбулентность, метеопараметры, выброс газообразных и конденсированных продуктов горения), переносе конденсированных продуктов горения. Данные сведения могут быть использованы при разработке системы удаленного обнаружения очагов природных пожаров как характерные признаки пожара.

Полученные данные о формировании верхового пожара от низового и данные о возникновении верхового пожара в результате воздействия потока горящих и тлеющих частиц должны быть учтены при разработке современной системы оценки пожарной опасности, которая должны учитывать различные факторы, такие как лесотоксационные данные, данные о реальных пожарах, рельефе, метеоданные и пр. Результаты численного моделирования зажигания ансамблем частиц следует использовать для оценки пожарной опасности различных объектов и сооружений из древесины, расположенных в зоне риска воздействия природного пожара.

Следует отметить, что, несмотря на общее выполнение плана исследований по проекту и общую завершенность полученных результатов проекта, необходимо продолжение исследований в данной научной области. Например, необходимо продолжить исследования переноса конденсированных продуктов горения и их распределения в пространстве, что позволит заложить основы для создания системы раннего обнаружения пожаров как с применением распределенной сети постов мониторинга, так и оптических систем воздушного базирования с большим радиусом действия. Такого рода системы позволят значительно снизить затраты на мониторинг пожаров и осуществлять обнаружение очагов горения на ранней стадии. Исследования воздействия горящих частиц необходимо продолжить в плоскости оценки рисков пожарной опасности как на хозяйственных объектах, так и на лесных территориях, что может быть использована в системе прогноза пожарной опасности.

В рамках выполнения третьего этапа проекта опубликовано 8 работ, в том числе 5 статей, индексируемых базами научного цитирования Web of Science, Scopus. Промежуточные результаты проекта докладывались на 5 международных и всероссийских конференциях.