

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СФОКУСИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Осотова Д.С., Барановский Н.В., Наумкин А.С., Исламова А.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: firedanger@narod.ru

В настоящей статье рассматривается такой фактор возникновения лесных пожаров, как сфокусированное солнечное излучение. Исследованы отдельные периоды пожароопасного сезона 2013 года на территории Тимирязевского участкового лесничества Тимирязевского лесничества Томской области. В качестве концентратора солнечной энергии использована вогнуто-выпуклая стеклянная линза. Физическое моделирование проведено на специально изготовленной экспериментальной установке. Определены времена задержки зажигания слоя лесного горючего материала при воздействии сфокусированного солнечного излучения. При сценарной оценке рассмотрено влияние такого метеорологического параметра, как скорость ветра в приземном слое атмосферы. Используются данные по контрольным зажиганиям 2013 года и архивы метеорологических параметров по контролируемой лесопокрытой территории. Сделаны предварительные выводы о влиянии некоторых метеорологических условий на уровень лесной пожарной опасности.

Ключевые слова: зажигание, лесной горючий материал, сфокусированное солнечное излучение, метеоусловия

ESTIMATION OF FOREST FUEL IGNITION CONDITIONS AT INFLUENCE OF THE FOCUSED SUNLIGHT

Osova D.S., Baranovskiy N.V., Naumkin A.S., Islamova A.G.

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin av., 30), e-mail: firedanger@narod.ru

Such factor of occurrence of forest fires, as the focused sunlight is considered in present paper. Selected periods of fire-dangerous season of 2013 year in territory of the Timiryazevskiy local forest area of the Timiryazevskiy forest area of Tomsk region are investigated. The concave-convex glass lens is used as the solar energy concentrator. Physical modelling is spent on specially made experimental installation. Ignition delay times of forest fuel layer are defined at influence of the focused sunlight. Influence of such meteorological parameter as speed of a wind in a ground layer of atmosphere is considered at scenario estimation. Data on control ignitions of 2013 year and archives of meteorological parameters on observed forestry territories are used. Preliminary conclusions are drawn on influence of some meteorological conditions on level of forest fire danger.

Keywords: ignition, forest fuel, focused sunlight, meteoconditions

Введение

Истинные причины возникновения лесных пожаров на удаленных от населенных пунктов и транспортных магистралей территориях, как правило, остаются неустановленными [9]. Одной из типичных версий причин возгораний в средствах массовой информации часто называется “умышленный поджог”. Хотя такой вариант возгорания на достаточно удаленном от населенного пункта расстоянии (100 – 200 км) представляется маловероятным. По мнению авторов настоящей работы, основой которой являются достаточно многочисленные прямые и косвенные свидетельства очевидцев, результаты физического [4] и математического [2] моделирования, в происшествиях с неустановленными причинами возможно воспламенение лесного горючего материала (ЛГМ) в результате действия солнечного излучения, сфокусированного природным или

антропогенным концентратором [1]. Однако к настоящему времени масштабные эксперименты проведены только для пожароопасного сезона 2012 года [3], когда в Томской области наблюдались катастрофические погодные условия. Необходим последовательный анализ контрольных возгораний лесных горючих материалов в условиях действия сфокусированного солнечного излучения. Для решения этой задачи следует накапливать каждый пожароопасный сезон данные экспериментов в их взаимосвязи с метеоусловиями.

Цель исследования – экспериментальное изучение условий зажигания ЛГМ сфокусированным естественным солнечным излучением и оценка лесной пожарной опасности на основе сценарного подхода.

Область исследований

Томская область, в особенности ее северная часть, является достаточно типичной лесопокрытой территорией бореальной лесной зоны. На ее примере возможно достаточно общее описание условий возникновения пожаров. Область располагает большими лесными ресурсами. Земли лесного фонда занимают 90,5 % всей ее территории. Древесными породами покрыта площадь в 17 млн. га, в том числе 9,9 млн. га — хвойными [8].

Леса области располагаются в бассейне р. Обь на исключительно равнинной с избыточным увлажнением территории и имеют большое природоохранное значение [8]. Относительно суровые климатические условия определяют достаточно ограниченный породный состав лесов. Наиболее распространенными видами лесобразователей являются сосна обыкновенная, кедр сибирский, ель сибирская, пихта сибирская, береза повислая и пушистая, осина и лиственница сибирская [8, 6]. Хвойные породы, главным образом, сосна и кедр сибирский составляют основу лесосырьевых ресурсов области. Чистые древостои чаще встречаются на севере области.

Преобладающая порода в Томской области — сосна. Разнообразие физических свойств почв и степени их увлажнения дает довольно широкий спектр типов леса [7], которые можно свести в следующие группы: лишайниковая, зеленомошная, долгомошная, сфагновая, травяно-болотная, разнотравная [8]. Пожарная опасность лесов Томской области определяется наличием значительной доли хвойных лесов, развитым горимым напочвенным покровом и жарким сухим летом. Климат Томской области является резко-континентальным бореального типа [6]. На территориях с континентальным климатом создаются особо благоприятные для возникновения лесных пожаров условия [7]. В лесах области в зависимости от условий погоды выражены все три пика сезонной горимости: весенняя волна пожаров, летние устойчивые пожары и осенние [8].

Особенностью лесов Томской области является наличие горючего материала во всех насаждениях. В области развиваются преимущественно низовые пожары (98,5 %), на долю верховых пожаров приходится 1,1 % происшествий и 12,5 % выгоревшей площади, еще реже возникают подземные пожары [8]. Доля пожаров по антропогенным причинам по годам достаточно стабильна, а пожары от грозового разряда носят циклический характер. Периоды с массовыми грозами сменяются более спокойными. Горимость лесов области значительно изменяется и по месяцам пожароопасного сезона. Наиболее «горимые» месяцы — июнь и июль. Продолжительность пожароопасного сезона по условиям погоды составляет от 137 до 161 дня [8].

Методика экспериментальных исследований

Известно, что часть солнечного излучения рассеивается в атмосфере [5]. В умеренных широтах на поверхность Земли воздействует тепловой поток этого излучения величиной до 1 кВт/м² [10]. В экспериментах использовалась вогнуто-выпуклая стеклянная линза диаметром 11 см с фокусируемым размером пятна в 3-3,5 мм в диаметре. Проведены экспериментальные измерения теплового потока сфокусированного солнечного излучения, концентрируемого указанной линзой. Методика измерений базируется на определении оптическим способом температуры поверхности $T_{\text{П}}$ изолированного по боковой поверхности эталонного металлического цилиндра с характерными размерами, сопоставимыми с размером пятна воздействия линзы. С помощью оптического пирометра замерялась температура поверхности этого цилиндра в отсутствии воздействия сфокусированного солнечного излучения, значение которой впоследствии использовалось для задания начальных условий в процессе вычислений. В последующие моменты времени поток солнечного излучения, сфокусированного линзой, воздействовал на поверхность металлического цилиндра. Одновременно оптическим пирометром фиксировалось изменение во времени температуры его поверхности. После проведения серии измерений и усреднения решалась задача теплопроводности в стальном цилиндре с граничными условиями второго рода на горизонтальной нагреваемой поверхности.

В результате цикла вычислений с целью сравнения условий, при которых достигается наилучшее совпадение значений, рассчитанных и измеренных $T_{\text{П}}$, было установлено, что тепловой поток (q_{sun}) сфокусированного линзой солнечного излучения, который воздействует на поверхность нагрева эталонного цилиндра, равен $17780 \pm 1293,5$ Вт/м². Доверительный интервал определения q_{sun} рассчитан с доверительной вероятностью $P=0.95$.

Объектом исследования являлись навески лесного горючего материала, сформированные из хвои сосны сбора 2011 года. Эксперименты проведены с хвоей побуревшей, частично разложившейся, предварительно хорошо высушенной. Размеры

отдельных хвоинок составляли 7 – 8 см в продольном и 0.7-1.2 мм в поперечном направлении. Плотность укладки соответствовала плотности укладки в реальном лесном массиве. Эксперименты проведены на специально созданной для этого установке. Схема установки представлена на рисунке 1.

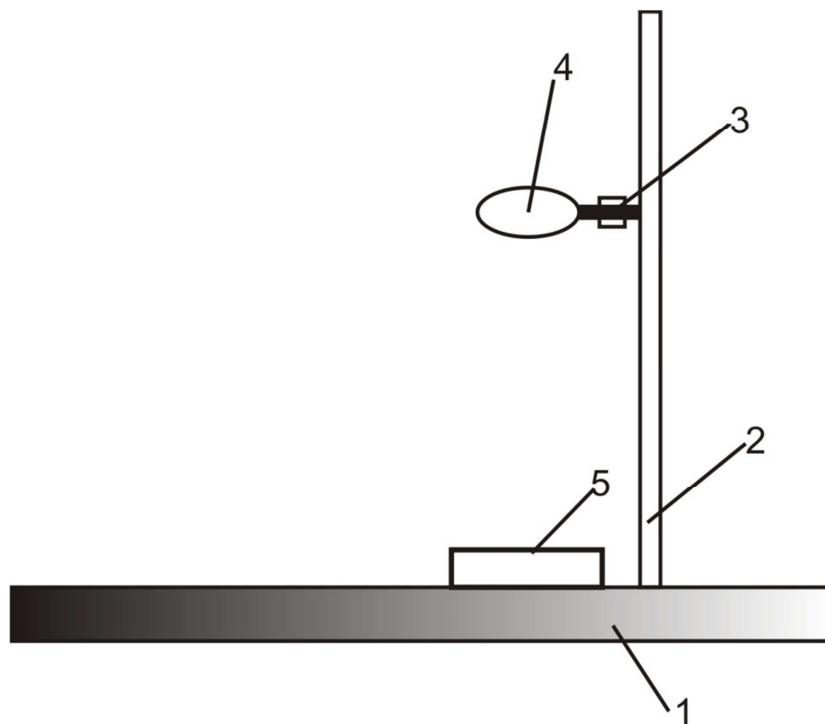


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – станина, 2 – штатив, 3 – манипулятор, 4 – оптическая линза, 5 – платформа для образца ЛГМ

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены характерные (типичные) результаты экспериментов по возгоранию хвои сосны.

Время, ч:мин	Скорость ветра, м/с	Облачность, визуально	Температура, °С	Время задержки зажигания, с	Вероятность, режимы 1,2,3	Вероятность, режим 3
11-00	4	нет	+16	69 \pm 17	1	1
11-30	5	нет	+18	65 \pm 15	1	1
12-00	3	нет	+17	72 \pm 19	0.733	1
12-30	1	нет	+19	нет	0	0
13-00	2	локально	+21	нет	0	0
13-30	2	да	+23	нет	0	0
14-00	1	да	+22	нет	0	0

Анализ данных наблюдений показал, что аналогично пожароопасному сезону 2012 года все результаты экспериментов можно условно разделить на три группы: а) при ветре со скоростью до 3 м/с; б) со скоростью ветра от 3 м/с до 4 м/с; в) скорость ветра 4 м/с и более. В первом случае имеет место формирование очага тления, который с течением времени

перестает увеличиваться в размере и затухает. Для второго и третьего режимов характерен также рост очага тления с течением времени. Процесс возгорания при скорости ветра более 4 м/с является устойчивым. В диапазоне изменения скорости ветра от 3 до 4 м/с воспламенение возможно, но процесс является случайным. Этот режим является переходным. В условиях интенсивной вынужденной конвекции происходит приток окислителя к поверхности пиролиза и переход в режим газофазного воспламенения.

Масштабные эксперименты, проведенные в 2013 году, также показали основополагающее влияние скорости ветра на процессы воспламенения ЛГМ в результате действия сфокусированного солнечного излучения. Также следует отметить, что доверительные интервалы определения времени задержки зажигания слоя ЛГМ концентрированным потоком солнечной радиации уменьшаются с увеличением скорости набегающего потока. Отмечено, что незначительно отличается интегральная вероятность возникновения возгорания (по совокупности режимов 1,2,3) от результатов 2012 года. Это может быть связано с флуктуациями температуры приземного воздуха.

В 2013 году не удалось достоверно и количественно изучить влияние облачности, так как в дни проведения экспериментов отмечалась низкая скорость ветра, что соответствует сценарию, при котором невозможно воспламенение слоя ЛГМ даже в ясную погоду. Следует отметить, что характерные данные, которые приведены в таблице 1, выстроены по возрастанию суточного хода времени, но соответствуют совокупности экспериментов проведенных в разные дни июля месяца 2013 года.

Возможно, для изучения процессов возгорания ЛГМ следует использовать комплексный подход, при котором при оценке лесной пожарной опасности задействованы данные измерений приборов MODIS со спутниковых платформ Terra/Aqua. Следует отметить, что и температурные параметры приземной атмосферы и оценка облачности могут быть получены с использованием продуктов серии MxD со спутниковых платформ Terra/Aqua с привлечением данных других приборов этих космических аппаратов.

Terra – межнациональный спутник на солнечно-синхронной орбите вокруг Земли (предназначен для научных исследований). Руководит проектом агентство NASA. Этот спутник весит 4864 кг. Выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту (высота 705 км).

Aqua – спутник для научных исследований. Также является частью комплексной программы NASA EOS (Earth Observing System), направленной на исследование Земли. Спутник Aqua выведен на околополярную солнечно-синхронную орбиту (высота 680 км). Спутник Aqua является вторым аппаратом (после спутника Terra), который был запущен в рамках программы NASA Earth Observing System. Группа спутников Terra, Aqua, Aura, CloudSat, Parasol, Calipso носит название A-train.

Кроме того, для учета геоморфологических характеристики поверхности (низины, возвышенности и т.д.) могут быть использованы цифровые модели рельефа, построенные по спутниковым снимкам радиолокационных приборов.

Выводы

В настоящей работе проведена оценка лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, на основе сценарного подхода. Проведен анализ контрольных возгораний пожароопасного сезона 2013 года. Исследовано влияние метеоусловий (в частности, скорости ветра) на вероятность возникновения лесного пожара в результате действия сфокусированного солнечного излучения. Работа создает перспективы всестороннего анализа влияния метеоусловий на процессы воспламенения лесных горючих материалов на основе сценарного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (мероприятие 1.5). Соглашение № 14.В37.21.1979.

Список литературы

1. Барановский Н.В., Кузнецов Г.В. Конкретизация неустановленных причин в детерминированно-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. - № 6. – С. 24-27.
2. Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. - № 8. – С. 34-37.
3. Барановский Н.В. Экспериментальные исследования зажигания слоя лесных горючих материалов сфокусированным солнечным излучением // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. - № 9. – С. 23-27.
4. Барановский Н.В. Экспериментальное исследование процесса зажигания в режиме тления растительного горючего материала в результате действия сфокусированного солнечного излучения // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. - № 12. – С. 17-21.
5. Кабанов М.В. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. I. Научно-методические основы: Монография / Под общей редакцией В.Е. Зуева. – Томск: Изд-во “Спектр” ИОА СО РАН, 1997. – 211 с.
6. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 301 с.

7. Курбатский Н. П. Пожары тайги, закономерности их возникновения и развития: Автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / ИЛИД СО АН СССР. – Красноярск, 1964. – 38 с.
8. Паневин В. С. Леса и лесное хозяйство Томской области: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 126 с.
9. Янко И. В. Пирологическая оценка территории Томской области. Дисс. ... канд. геогр. наук. – Томск: Томский государственный педагогический университет, 2005. – 174 с.
10. Babrauskas V. Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management, and forensic science. Fire Science Publishers, Issaquah, 2003. – P. 843.

Рецензенты:

Немова Т.Н., д.т.н., профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск.

Шеремет М.А., д.ф.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск.