

УДК 536.468

**А.М. Гришин, А.И. Фильков, Е.Л. Лобода, В.В. Рейно,
Ю.А. Руди, В.Т. Кузнецов, В.В. Караваев**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТЕПНОГО ПОЖАРА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В работе представлены результаты натурных экспериментов по изучению возникновения и распространения степных пожаров. Приведены значения характерных температур во фронте горения, скорость распространения фронта пожара в зависимости от скорости ветра. Исследовано возникновение степного пожара от точечного источника зажигания и вероятность его возникновения в зависимости от размеров и типа источника зажигания.

Ключевые слова: *степной пожар, скорость распространения, температура пламени, вероятность возникновения пожара, точечный источник зажигания.*

Одним из распространенных видов природных пожаров являются степные пожары, которые играют важную роль в формировании и поддержке степных биогеоценозов. Известно как положительное, так и отрицательное их влияние [1]. Для успешной борьбы со степными пожарами важно уметь предвидеть их возникновение и оценивать возможности их распространения. Это позволит минимизировать затраты на борьбу со стихией и избежать серьезных последствий, таких, как переход степного пожара в поселковый или городской.

В настоящее время вопросы возникновения и распространения степных пожаров остаются малоизученными. Известны отдельные теоретические [2 – 5] и экспериментальные [6, 7] работы по исследованию степных пожаров. Однако отсутствуют полноценные комплексные натурные экспериментальные исследования характеристик фронта степного пожара, условий его возникновения от различных типов источников зажигания и распространения. В настоящей работе приводятся результаты натурных исследований возникновения и распространения степных пожаров.

1. Описание экспериментальной площадки, измерительного оборудования и методики проведения экспериментов

С 5 по 7 мая 2010 г в районе г. Карасук Новосибирской области были проведены натурные эксперименты по исследованию степных пожаров. Растительность в этом районе является характерной для степей и южных лесостепей. Исследования проводились на горизонтальной поверхности с нулевым углом наклона (высота 115 м над уровнем моря) и координатами: N 53°42'48" E 78°04'25". Растительность на площадке представляла собой злаково-полынную залежь, на которой четко выделяются 3 яруса (рис. 1): 1 – ярус злаков (прошлогодние побеги злаков, значительно реже прошлогодние цветоносы полыней); 2 – ярус полыни (прошлогодние вегетативные части полыни австрийской); 3 – ярус типчака (куртины типчака, проростки злаков и др. трав).

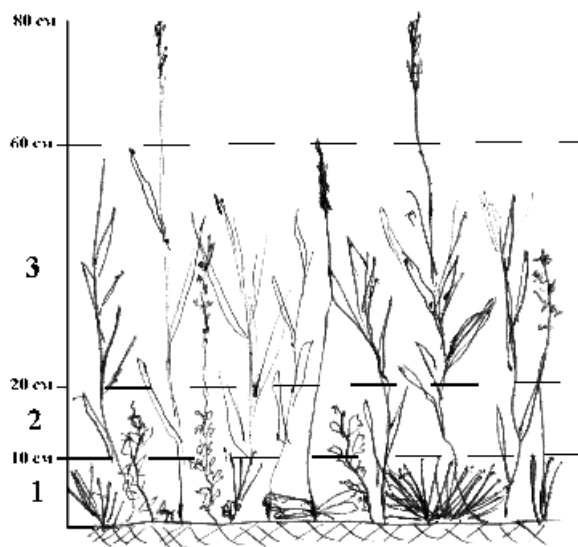


Рис. 1. Ярусы типичной растительности в месте проведения эксперимента:
1 – ярус типчака, 2 – ярус полыни, 3 – ярус злаков

Флористический состав на выбранных экспериментальных площадках (рис. 2, а) – значительно обедненный в связи с временем года (начало мая, сорняки еще не приступили или только в самом начале вегетативного периода). Общее проективное покрытие¹ составило 15 – 20 %. Биомассу на площадке определяли следующим образом. Срезали всю растительность с трех участков 1×1 м, далее разбирали по видам и определяли процентное соотношение от общей биомассы. Виды произрастающих растений, их биомасса и покрытие приведены в табл. 1.

Таблица 1

Покрытие и биомасса доминантов и со-доминантов

Вид растения	Высота, см	Покрытие к общему проективному покрытию, %	Биомасса, %
<i>Elytrigia repens</i> (Пырей ползучий)	60–80	40–50	75–95
<i>Artemisia austriaca</i> (Полынь австрийская)	40–65	30–50	4–25
<i>Festuca ovina</i> (Типчак, или Овсяница овечья)	5–20	5–10	2–5
Остальные	до 20	1–5	1–2

Почва на площадках (рис. 2, б) представляла собой чернозем южный, глубоковскипающий маломощный малогумусный тяжелосуглинистый пылеватый по-стагrogenный. Температура почвы на поверхности составляла 290 К, а на глубине 0,5 метра – 276 К.

¹ Проективное покрытие – показатель, определяющий относительную площадь проекции отдельных видов или их групп, ярусов и т.д. фитоценоза на поверхность почвы. Различают общее проективное покрытие (покрытие всего яруса) и частное проективное покрытие (покрытие отдельных видов) [8].



Рис. 2. Вид растительности (а) и срез почвы (б) в месте проведения эксперимента

Масса степного горючего материала (СГМ) определялась при помощи электронных весов А&D ЕК-1200G с точностью 10^{-2} кг, влагосодержание СГМ и почвы – при помощи анализатора влажности А&D МХ-50 с точностью 0,01 %. Температура воздуха, относительная влажность и атмосферное давление контролировались при помощи метеостанции Meteorscan RST01923 и измерителя температуры и скорости движения воздуха ТКА-ПКМ (модель 52). Температура воздуха T варьировалась в пределах $289 \div 293$ К, относительная влажность воздуха φ – $32 \div 45$ %, атмосферное давление P_e – $738 \div 741$ мм рт.ст., запас СГМ – $126,8 \div 153,7$ г/м². Скорость ветра (направление) составляла $1 \div 8$ м/с, температура и влагосодержание почвы $287,8$ К и $14,7$ % соответственно, влагосодержание доминирующих растений w (пырей, полын, типчак) – $11, 44$ и $26,8$ % соответственно. Время t при проведении экспериментов контролировалось при помощи секундомера Агат 010 с точностью $0,2$ с. Суммарные относительные погрешности определения параметров не превышали $\delta w/w \cdot 100\% \leq 3,3\%$, $\delta m/m \cdot 100\% \leq 1,2\%$, $\delta P_e/P_e \cdot 100\% \leq 6,0\%$, $\delta T/T \cdot 100\% \leq 5,3\%$, $\delta \varphi/\varphi \cdot 100\% \leq 2,5\%$, $\delta t/t \cdot 100\% \leq 4,3\%$.

Размеры экспериментальных площадок выбирались с учетом следующих условий:

$$\delta x \ll Y \ll X, \delta x = x_2 - x_1,$$

где Y – ширина полосы площадки исследований; X – длина полосы исследований; δx – ширина фронта пожара; x_1, x_2 – границы фронта пожара.

Непосредственно перед проведением экспериментов определялось преимущественное направление ветра и выбирались участки согласно цели эксперимента. Границы участков окашивались для предотвращения неконтролируемого распространения фронта пожара. Ширина окошенной полосы была не менее 3 м.

Распространение фронта горения и его структура в видимой области контролировались с помощью видеокамеры Sony DCR-DVD505E, а температурное поле фронта – с помощью гребенок термопар ХА (хромель-алюмель), расположенных в продольном и вертикальном направлениях относительно выбранной полосы исследований. Термопары 5 (рис. 3) располагались на горизонтальных кронштейнах длиной $0,2$ м, ориентированных параллельно фронту пожара. Кронштейны крепились на вертикальных стойках 2 с шагом $0,3$ м по вертикали. Стойки с термопарами находились на расстоянии 1 м друг от друга. Показания термопар регистриро-

вались при помощи измерительного комплекса, описанного в [9] с последующей доработкой под полевые измерения.

В инфракрасной области характеристики фронта горения регистрировались с помощью тепловизоров JADE J530SB и Inframetrics-760. Технические данные тепловизора JADE J530SB позволяли регистрировать пламя с частотой 50 кадров в секунду. Тепловизор JADE J530SB использовался с дисперсионным оптическим фильтром, спектральный интервал которого составлял 2,5 – 2,7 мкм. Тепловизор Inframetrics-760 имел рабочий диапазон длин волн от 3 до 5 мкм.

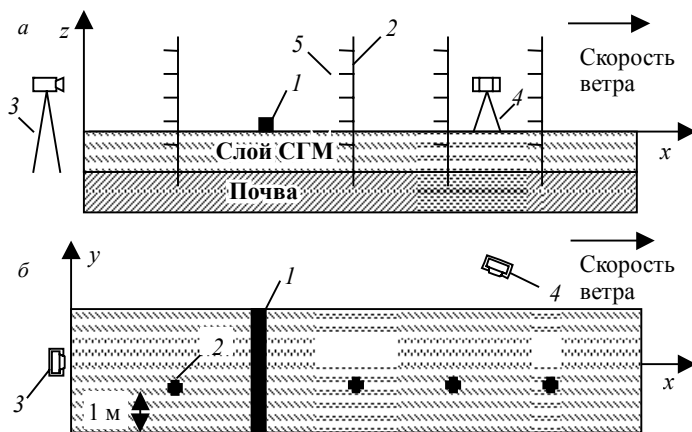


Рис. 3. Вид площадки сбоку (а) и сверху (б) первой серии экспериментов: 1 – источник зажигания, 2 – стойки термпар, 3 – тепловизор Inframetrics-760, 4 – тепловизор JADE J530SB, 5 – термпары

В настоящей работе представлены результаты трех серий экспериментов, целью которых было определение в динамике распределения температур во фронте горения, исследование возникновения и распространения степного пожара от точечного источника зажигания, определение вероятности возникновения пожара в зависимости от размера и типа точечного источника зажигания.

2. Результаты экспериментальных исследований

Исследование полей температур во фронте степного пожара. В первой серии из трех экспериментов проводились исследования характеристик фронта степного пожара, направленного вдоль и перпендикулярно направлению скорости ветра, в результате линейного поджига.

Количественный состав доминирующих растений и запас СГМ на 1 м² составил: для 1-го и 2-го экспериментов $m = 0,254$ кг (в том числе: пырей ползучий – 0,178 кг, полынь австрийская – 0,065 кг); для 3-го эксперимента – 0,185 кг (в том числе: пырей ползучий – 0,172 кг, полынь австрийская – 0,01 кг). Горючий материал представлял собой высохшую траву высотой до 0,8 м, с отдельными включениями живых растений.

Эксперимент проходил на площадке размером 8×3 м, ориентированной по направлению скорости ветра. Тепловизор JADE J530SB располагался сбоку под углом к площадке и обеспечивал максимальный обзор в рабочей области, а тепловизор Inframetrics-760 – с тыла горения (см. рис. 3).

Для первого эксперимента зажигание производилось на расстоянии 3 м от начала площадки в направлении скорости ветра. Стойки с термопарами размещались с шагом 1,5 м. Для второго и третьего эксперимента зажигание производилось на расстоянии 1 м и стойки размещались с шагом 1 м. Для всех экспериментов использовали 4 стойки с термопарами, по 5 термопар на каждой.

Зажигание производилось равномерно по всей ширине площадки исследований путем создания зоны зажигания, которая состояла из полосы льна, пропитанной легкими фракциями нефтепродуктов для быстрого и равномерного формирования фронта горения по всей ширине экспериментальной площадки. После зажигания была образована огненная полоса с высокой интенсивностью и достаточно продолжительным временем горения, что обеспечило гарантированное равномерное формирование фронта горения.

Для калибровки показаний тепловизоров использовали данные, полученные с термопар. На рис. 4, *а* и *б* приведена термограмма и распределение температур в точках 1, 2, 3, которые находятся в непосредственной близости от термопар, а на рис. 4, *в* приведены результаты измерений при помощи термопар для второго эксперимента. Кривые 1 – 3 на рис. 4, *в* соответствуют показаниям термопар, расположенных рядом с точками 1 – 3 на рис. 4, *а*, кривые 4 и 5 соответствуют показаниям термопар, расположенных выше точки 3 на 30 и 60 см соответственно. Очевидно совпадение максимальных температур во фронте горения, полученных тепловизором и термопарами. Однако необходимо отметить, что полученная при помощи тепловизора нестационарность температуры во фронте горения обусловлена скоростью съемки (50 Гц) и отсутствием инерционности, свойственной термопарам.

В результате измерений было получено удовлетворительное согласование показаний термопар и тепловизора JADE J530SB при коэффициенте излучения $\varepsilon[2,5 \text{ мкм}; 2,7 \text{ мкм}] = 0,79$. Для тепловизора Inframetrics-760 удовлетворительное согласование температур достигалось при $\varepsilon[3 \text{ мкм}; 5 \text{ мкм}] = 0,65$. Различие коэффициентов излучения обусловлено разным спектральным диапазоном работы тепловизоров, в первую очередь его шириной. При анализе профиля температур во фронте горения наблюдалась хорошая повторяемость результатов и можно сделать вывод, что температуры на передней и задней кромках фронта горения колеблются в диапазоне 730–950 К и достигают максимума около 1100 К в глубине фронта горения, что согласуется с [10]. Полученные в результате измерений значения температур в целом ниже на 100 – 150 К величин, опубликованных в [10], что можно объяснить меньшим запасом СГМ. Однако в проведенной серии экспериментов различия в запасе СГМ в указанном выше диапазоне не влияют на температуры во фронте горения.

Для изучения влияния тепловых потоков и очага горения на деревянные постройки в конце экспериментальной полосы был вертикально установлен деревянный щит размером 2 × 2 м, изготовленный из плахи хвойных пород дерева (толщина 50 мм) с влажностью 17 – 23 %. В результате проведенных экспериментов возгорания щита не возникало. На деревянных плахах образовывался небольшой ожог, который не проникал вглубь волокон древесины. Можно сделать вывод, что деревянные конструкции, толщиной более 50 мм не воспламеняются под воздействием фронта степного пожара при запасе СГМ 0,254 кг/м² вследствие недостатка энергии.

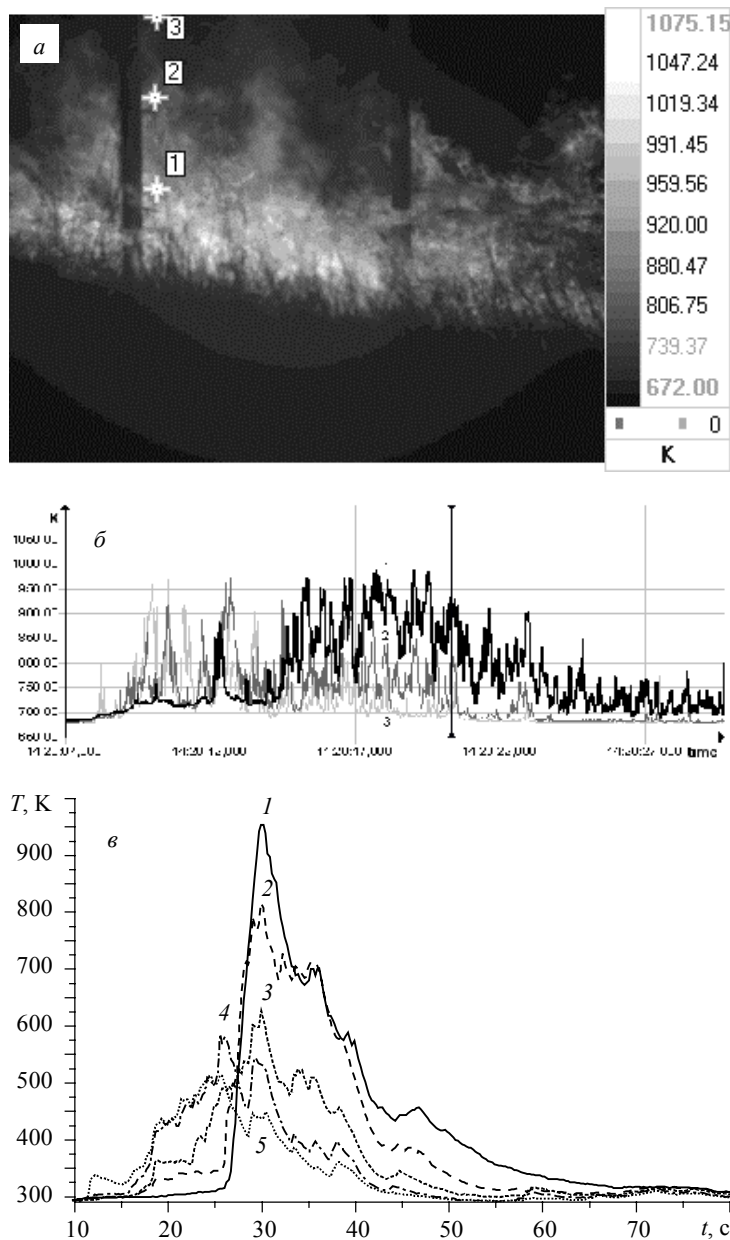


Рис. 4. Термограмма (а), изменение температур в фронте пожара в точках 1, 2, 3 (б) по данным, полученным с тепловизора JADE J530SB и изменение температур в фронте пожара по зарегистрированным показаниям термопар (в) для второго эксперимента

Дополнительно были определены скорости распространения фронта пожара v_f в зависимости от скорости ветра v_e , которые приведены на рис. 5. Для определения скорости распространения фронта горения использовалась видеозапись.

В качестве текущего положения фронта горения считалось расположение передней кромки фронта в нижней части факела пламени. Верхняя часть факела пламени при измерениях не учитывалась, так как она не соприкасалась с СГМ. Необходимо отметить, что на временном интервале 0 – 7 с большая скорость распространения фронта горения обусловлена воздействием полосы зажигания, высота пламени у которой была значительно выше высоты пламени при горении СГМ. Последующее после зажигания значительное увеличение скорости ветра вначале не приводило к соответствующему увеличению скорости распространения фронта горения, так как значительная часть биомассы верхнего яруса выгорела под воздействием интенсивного горения полосы зажигания. Поэтому целесообразно рассматривать значения v_f в последующие моменты времени.

Из анализа кривых на рис. 5 отчетливо видна прямая зависимость между скоростью ветра и скоростью распространения фронта пожара на отрезке времени после 50 с.

Исследование возникновения степного пожара от точечных источников зажигания. Для второй серии экспериментов запас СГМ на 1 м² составил 0,185 кг (в том числе: пырей ползучий – 0,172 кг, полынь австрийская – 0,01 кг). Горючий материал представлял собой высохшую траву высотой до 0,8 м, с отдельными включениями живых растений.

Размер площадок для 1-го эксперимента составлял 6×3 м, второго и третьего 4×4 м. На рис. 6 представлена схема проведения экспериментов 1 – 3.

Целью данных экспериментов было оценить развитие контура фронта горения (эксперимент 1), скорости распространения и температуры фронта горения вдоль и перпендикулярно направлению скорости ветра от точечного (эксперимент 2) и линейного источников зажигания (эксперимент 3).

В качестве эталонного точечного источника зажигания использовалась охотничья спичка¹, линейный источник был аналогичен источнику, использованному в первой серии экспериментов.

Перед началом первого эксперимента была подготовлена площадка размером 6 × 3 м, ориентированная в направлении скорости ветра. Спичка забрасывалась на расстояние 1,5 ± 0,2 м (рис. 6, а).

Тепловизионная картина динамики развития процесса воспламенения и распространения фронта горения от точечного источника, полученная при помощи тепловизора JADE J530SB, расположенного на расстоянии 10 м от передней границы площадки и высоте 5 м над поверхностью земли, приведена на рис. 7.

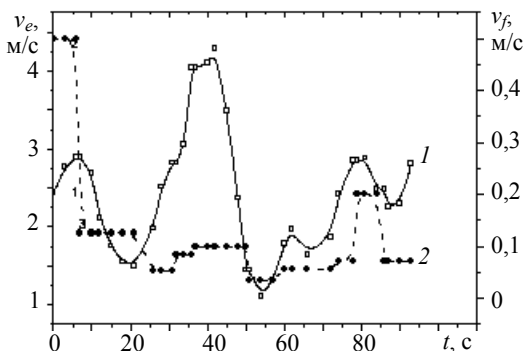


Рис. 5. Экспериментальные значения скорости распространения степного пожара в зависимости от скорости ветра: 1 – скорость ветра, 2 – скорость фронта пожара

¹ ТУ 5551-004-00401294-2003 производства ЗАО «Плитспичпром» (Россия, г. Балабаново).

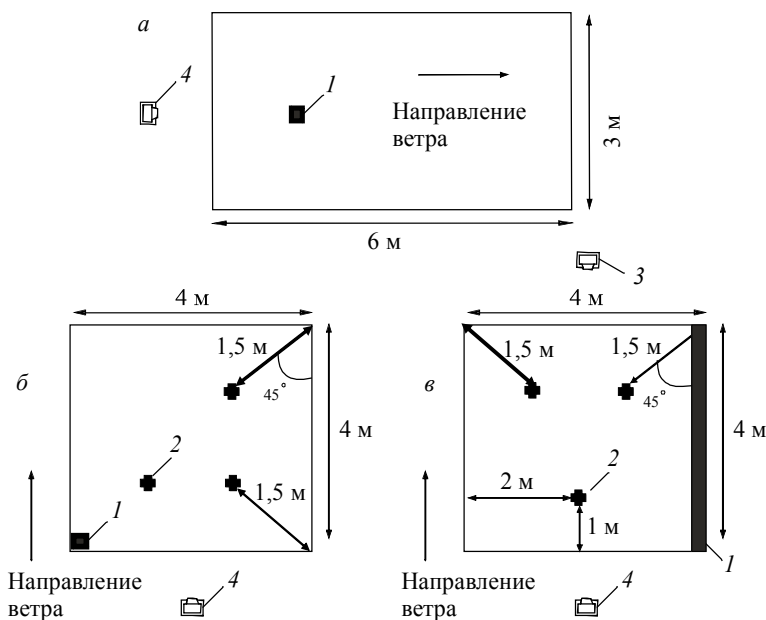


Рис. 6. Схема проведения 2-й серии экспериментов: а – площадка 1, б – 2 и в – 3; 1 – источник зажигания, 2 – стойки термопар, 3 – тепловизор Inframetrics-760, 4 – тепловизор JADE J530SB

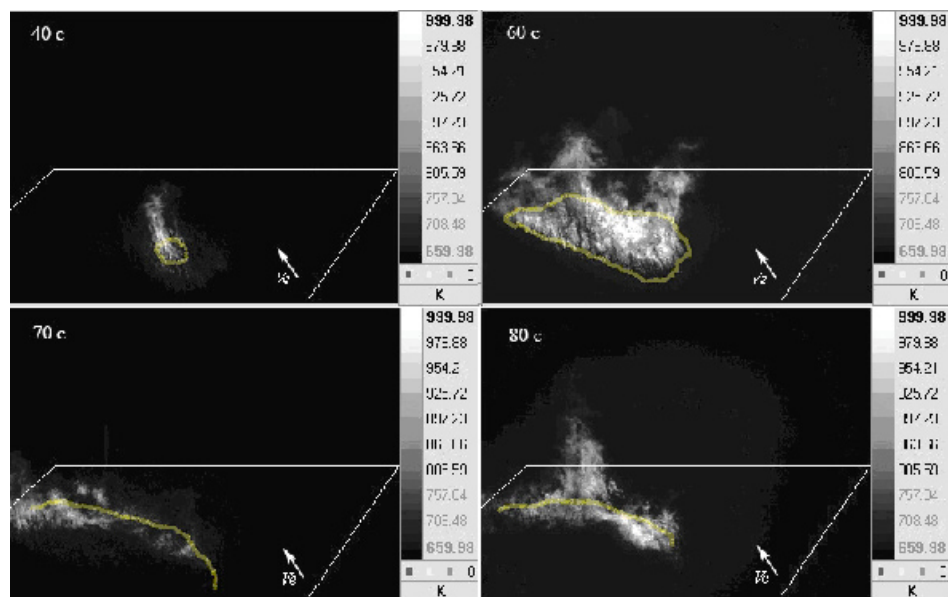


Рис. 7. Термограммы динамики зажигания и развития процесса горения

На рис. 7 видно, что на 40-й с формируется устойчивый очаг горения, который постепенно увеличивается и к 70-й с достигает размеров, при которых появляется четко выраженный фронт пожара. Далее он под действием ветра начи-

нает увеличиваться и распространяться, пока не достигает границы экспериментальной площадки. По мере выгорания горючего материала огонь начинает постепенно затухать.

Площадки для второго и третьего экспериментов имели размеры 4×4 м. Во втором эксперименте зажигание производилось точечным источником в левом нижнем углу в направлении скорости ветра (см. рис. 6, б). Три стойки с термодатчиками располагались на расстоянии 1,5 м от каждого угла. Тепловизор JADE J530SB располагался на расстоянии 5 м от граница площадки с тыльной стороны фронта пожара.

На рис. 8 приведена термограмма и вертикальные профили температуры во фронте пожара, полученные при помощи тепловизора JADE J530SB.

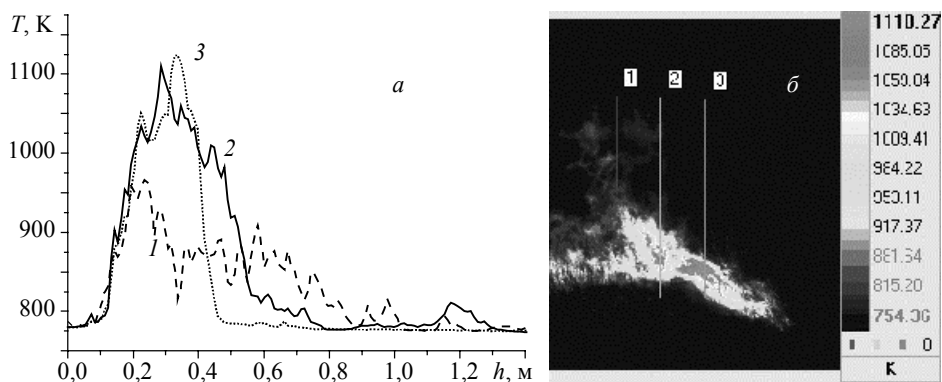


Рис. 8. Термограмма (а) и профили температуры (б) во фронте степного пожара, образованного от точечного источника зажигания: 1, 2 и 3 – соответствуют сечению 1, 2 и 3 на рис. 8, б соответственно

Из анализа рис. 8 видно, что максимальные температуры внутри фронта степного пожара наблюдаются на высоте $0,2 \div 0,7$ м, что связано со структурой растительного покрова и согласуется с высотой доминирующих растений.

В третьем эксперименте зажигание производилось от линейного источника, расположенного вдоль направления скорости ветра (см. рис. 6, в). Тепловизоры располагались на расстоянии 5 м от границ площадки с передней и тыльной сторон фронта горения. Ввиду того, что направление скорости ветра было параллельно линейному источнику зажигания, фронт горения под воздействием ветра уменьшал свою протяженность, и, как следствие, произошло неполное сгорание слоя СГМ (рис. 9). При этом температуры внутри фронта горения были такие же, как и в предыдущих экспериментах. Следует отметить, что после проведения экспериментов температура почвы на поверхности в среднем возрастала на 12° .

Исследование вероятности возникновения степного пожара от точечных источников зажигания. Для определения вероятности зажигания площадок от антропогенных источников (в данном случае горящая спичка и древесные угли) была проведена третья серия экспериментов.

На площадку с запасом СГМ $0,185 \text{ кг/м}^2$ случайным образом бросали тлеющие угли. Масса углей варьировалась от $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^{-3}$ кг, при этом геометрические размеры составили $(10-20) \cdot 10^{-3}$ м в диаметре. Поверхностная температура, измеренная пирометром, изменялась в диапазоне $663 \div 1243$ К. Согласно [11],

удельная теплота сгорания древесного угля равна 33890 кДж/кг, т.е. энергия, которую способны были выделить образцы угля, варьировалась в диапазоне 13,5 – 118,6 кДж. Во всех случаях воспламенения не наблюдалось. Для повышения вероятности воспламенения запас СГМ был искусственно завышен до 0,680 кг/м². В результате в отдельных случаях наблюдалось тление, которое не приводило к воспламенению. Можно предположить, что вероятность возникновения степного пожара от тлеющих частиц указанного размера мала, так как мала плотность растительного покрова и тлеющая частица не соприкасается с достаточным количеством элементов СГМ. Согласно [12], энергии углей должно быть достаточно для зажигания слоя СГМ. Но следует отметить, что влагосодержание типчака, который образовывал нижний ярус растительности и находился в непосредственной близости от брошенного угля, близко к критическим значениям влагосодержания для растений, указанных в [12]. Однако непосредственный контакт угля с элементами растительности отсутствовал, следствием чего значительная часть энергии, выделяемой углем при горении, уходила в почву и окружающий воздух.



Рис. 9 – Результаты эксперимента по распространению фронта горения от линейного источника зажигания, расположенного вдоль направления скорости ветра. 1 – зона несгоревшего СГМ, 2 – зона, где распространялся фронт горения под действием ветра

Во втором случае на площадки с запасом 0,185 и 0,254 г/м² 30 раз случайным образом бросалась горящая спичка¹. Учитывая данные [11, 13], максимальная энергия, которую могла выделить при горении спичка, не превышала 1,5 кДж. В результате получили следующий процент воспламенения и устойчивого горения: для площадки с запасом 0,185 кг/м² – 57 %, для площадки с запасом 0,254 кг/м² – 77 %. Можно предположить, что величина запаса влияет на вероятность воспламенения, и увеличение ее на 37 % (до 0,254 г/м²) в данных условиях приводит к увеличению вероятности появления пожара на 20 %. Следует отметить, что наличие открытого источника огня даже малого размера приводит к резкому увеличению вероятности возникновения пожара в отличие от опытов с тлеющими частицами, что согласуется с работой [14].

Дополнительно были проведены эксперименты с использованием имитатора «огненного дождя» (совокупности точечных источников зажигания), представлявшего собой пиропатрон в виде цилиндрической трубки диаметром 15 мм, дли-

¹ ГОСТ 1820-2001.

ной 150 мм с толщиной стенки 1,5 – 2 мм, заполненной твердой газогенерирующей смесью с частицами активированного угля. Фрагменты активированного угля имели размеры от 2 до 5 мм, что позволяло регулировать время сгорания частиц и интенсивность тепловыделения в очаге пожара. В результате исследований обнаружено, что возгорание возникает только в одном из 9 случаев. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, частицы имеют небольшой размер и в процессе полета выгорают, с другой – они имеют небольшую энергию и под воздействием ветра долетают до слоя СГМ уже с энергией, недостаточной для воспламенения.

3. Выводы

Из проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

Через 1,5 минуты после попадания источника открытого огня в слой СГМ формируется устойчивый фронт степного пожара, который распространяется в направлении скорости ветра.

Температура в фронте степного пожара не превышает 1100 К и с течением времени изменяется преимущественно в пределах 730÷950 К, а максимальное значения температуры находится на высоте 0,2÷0,7 м от поверхности земли.

Коэффициент излучения пламени и продуктов горения в диапазоне 2,5 – 2,7 мкм в среднем равен 0,79, а в диапазоне 3 – 5 мкм его средняя величина равна значению 0,65.

Наиболее вероятной причиной возникновения степного пожара в пожароопасный сезон является источник открытого огня, которым может являться даже брошенная спичка.

Вероятность возникновения степного пожара от горящей спички зависит от запаса СГМ и для запаса 0,254 кг/м² достигает 77 %.

Возникновение степного пожара от тлеющих частиц массой до 3,5 г и максимальной энергией 118,6 кДж маловероятно.

Степной пожар при запасае СГМ 0,254 кг/м² не приводит к воспламенению деревянных конструкций толщиной 50 мм и влажностью 17 – 23 %.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» г/к № П 1109 и НОЦ- г/к № 02.740.11.0674, гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-4331.2011.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Софронов М.А., Вакуров А.Д. Огонь в лесу. Новосибирск: Наука, 1981. 128 с.
2. Бурасов Д.М., Гришин А.М. Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров. Кемерово: Практика, 2006. 133 с.
3. Cruz M. Fire behaviour in some common Central Portugal fuel complexes: evaluation of fire behaviour models performance [Text] / M. Cruz, D.X. Viegas // Proc. 3rd Int. Conf. on Forest Fire Research/14th Fire and Forest Meteorology Conf., Luso, 16-20 November 1998. ADAI, University of Coimbra, Coimbra, 1998. P. 859–875.
4. Morvan D. Physical modelling of fire spread in Grasslands [Text] / D. Morvan, S. Meradji, G. Accary // Fire Safety Journal. 2009. No. 44. P. 50–61.
5. Cheney N.P. Prediction of fire spread in grasslands [Text] / N.P. Cheney, J.S. Gould, W.R. Catchpole // Int. J. Wildland Fire. 1998. No. 8. P. 1–13.
6. Santoni P.A. Instrumentation of wildland fire: Characterisation of a fire spreading through a Mediterranean shrub [Text] / P.A. Santoni, A. Simeoni, J.L. Rossi et al. // Fire Safety Journal. 2006. No. 41. P. 171–184.

7. Гришин А.М., Лобода Е.Л. Экспериментальные исследования критического влагосодержания и критической энергии зажигания для отдельных видов полевой растительности // Изв. вузов. Физика. 2008. № 12/2. С. 96–100.
8. Воронов А.Г. Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.
9. Комплекс установок для исследования природных пожаров / А.М. Гришин [и др.] // Изв. вузов. Физика. 2009. № 2/2. С. 84–90.
10. Гришин А.М., Фильков А.И., Лобода Е.Л. и др. Физическое моделирование степных пожаров в натуральных условиях // Пожарная безопасность. 2010. № 2. С. 100–105.
11. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: справочник / под ред. А.Н. Баратова и А.Я. Корольченко. Кн. вторая. М.: Химия, 1990, 384 с.
12. Гришин А.М., Лобода Е.Л. Экспериментальные исследования критического влагосодержания и критической энергии зажигания для отдельных видов полевой растительности // Известия вузов. Физика. 2009. Т. 52. №2/2. С. 96–100.
13. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 218 с.
14. Kim D.H., Lee M.B., Viegas D.X. Ignition of Surface fuels by Cigarette in Forest Fire: Fire Prevention and Management // VI International Conference on Forest Fire Research: Proc. conference, 15 – 18 November 2010 / ADAI/CEIF. Coimbra, Portugal, 2010. CD ROM.

Статья поступила 26.01.2011 г.

Grishin A.M., Fil'kov A.I., Loboda E.L., Reino V.V., Rudi Yu.A., Kuznetsov V.T., Karavaev V.V. EXPERIMENTAL STUDIES OF OCCURENCE AND SPREAD OF A STEPPE FOREST IN FIELD CONDITIONS. Results of field experiments on researching occurrence and spreading of steppe fires are presented. Values of temperature characteristics in the front of burning and speed of fire front spread depending on wind velocity are presented. Occurrence of a steppe fire from a pointlike source of ignition and probability of its occurrence depending on the size and type of the ignition source are investigated.

Keywords: steppe fire, speed of spread, flame temperature, probability of fire initiation, point source of ignition

GRISHIN Anatolii Mikhailovich (Tomsk State University)

E-mail: fire@mail.tsu.ru

FIL'KOV Aleksandr Ivanovich (Tomsk State University)

LOBODA Egor Leonidovich (Tomsk State University)

E-mail: Loboda@mail.tsu.ru

REINO Vladimir Vladimirovich (Tomsk State University)

RUDI Yurii Anatolyevich (Tomsk State University)

KUZNETSOV Valerii Tihonovich (Tomsk State University)

KARAVAEV Vasilii Vasilyevich (Tomsk State University)