

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*431

**ПАРАМЕТРЫ ФРОНТАЛЬНОЙ КРОМКИ ПОЖАРА
В ЛИСТВЕННИЧНИКАХ НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ***Н. П. КУРБАТСКИЙ, А. Г. ЦЫКАЛОВ*

Институт леса и древесины СО АН СССР

Для успешного решения многих задач охраны лесов от низовых пожаров важно знать их параметры. Главными из них являются ширина кромки, скорость ее распространения и высота пламени.

В настоящее время разработан и предложен ряд математических моделей, которые описывают горение, распространяющееся как по отдельным частям лесных горючих материалов, так и по состоящему из них слою. Эти модели основаны на законах тепло- и массопереноса и газовой динамики, физико-химических характеристиках горючих материалов и на условиях, характеризующих состояние среды, в которой протекает процесс горения [4]. В них предполагается строгая детерминация процесса, что, в отличие от лабораторных условий, не соответствует его крайней нестационарности и сильной изменчивости определяющих факторов. В результате возникает противоречие между тщательным учетом влияния факторов и довольно грубым определением их значений [6].

Разработаны также математические модели скорости распространения огня, в основу которых положены экспериментальные данные, полученные при имитации низовых пожаров [2, 3, 5, 7]. Недостаток таких моделей в том, что они получены для ограниченного числа значений факторов при прочих равных условиях и без учета их взаимодействия.

На современном уровне развития охраны лесов наиболее доступны полуэмпирические многофакторные линейные модели, позволяющие оперативно рассчитывать параметры низового пожара. При небольшом интервале варьирования факторов использование линейных уравнений вполне правомерно.

Из априорных знаний о природе лесных пожаров, а также опыта построения полуэмпирических математических моделей следует, что в насаждениях одного типа леса на скорость распространения огня, высоту пламени на кромке и ее ширину непосредственно влияют следующие факторы: x_1 — скорость ветра на высоте напочвенного покрова, м/с; x_2 — влагосодержание проводников горения (ПГ), %; x_3 — глубина залегания вечной мерзлоты, м (дополнительный фактор в насаждениях, произрастающих в условиях вечной мерзлоты); x_4 — запас ПГ на 1 м² поверхности, кг; x_5 — плотность слоя ПГ, кг/м³; x_6 — крутизна склона, град.

При построении моделей использована методика полного многофакторного эксперимента [1]. Для получения необходимого фактического материала в сезоны 1986—1989 гг. мы провели серию полевых опытов по имитации низового пожара. Опыты выполнены в лиственничниках лишайниковой и зеленомошной групп типов леса по методике, разработанной Н. П. Курбатским и Г. А. Ивановой [6]. Участки расположены в насаждениях Центральной Эвенкии, выделенных в Таймуро-Нидымский лесорастительный округ среднетаежных лиственничных лесов и темнохвойных редколесий. Характеристика опытных участков дана в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Но- мер опыт- ного уча- стка	Экспо- зиция и кру- тизна склона.	Тип лист- венничного леса	Древостой					Подрост			Подлесок			Доминанты напочвенного покрова
			Ярус	Состав (воз- раст)	Сред- няя высо- та, м	Сред- ний диам- метр, см	Гу- сто- та, шт./га	Состав	Сред- няя высо- та, м	Гу- сто- та, шт./га	Состав	Сомк- ну- тость	Сред- няя высо- та, м	
1	Ю, 20°	Можже- ловый ли- шайниково- шикшевый	I	10Л(147)	12,1	11	700	8Л2К + Е	1,6	560	Ив, Шп, Мж, Ол	0,2	2,0	Шлякша, ли- шайники, го- лубика
			II	10Л(137) + + Б(50)	6,4	6	800							
2	Ю, 3°	Багульни- ково-зеле- номошный	I	10Л(195)	12,1	14	660	9К1Л	0,4	260	Ол, Шп, Ив	0,3	2,0	Зеленые мхи, багульник, брусника
			II	10Л(155)	9,1	9	240							
3	Ю—В, 8°	Кустарнич- ково-зеле- номошный	I	10Л(145)	10,1	11	900	6К3Л1Е	1,9	2280	Ол, Ив, Шп, Жм	0,3	2,2	Зеленые мхи, голубика, брусника
			II	8Л(145)2Е(140)	6,6	7	2620							
4	Ю, 11°	Голубично- лишайнико- вый	I	10Л(355)	17,2	24	272	9Л1К, ед. Е	1,3	787	Шп, Ол	0,1	1,3	Лишайники, голубика
			II	8К(245)2Л(355)	12,1	19	158							
5	Ю, 18°	Можже- ловый ли- шайниково- шикшевый	—	10Л(75)	8,6	8	7480	9Л1К + + Е, Б	2,3	1980	Ив, Мж, Шп	0,2	0,4	Шлякша, ли- шайники, го- лубика, брус- ника
6	С, 28°	Кустарнич- ково-лишай- никовый	—	10Л(159)	8,3	10	900	10Л	3,7	512	Ив	0,1	0,5	Шлякша, ли- шайники, ба- гульник

Таблица 2

Номер опытного участка	Запас на 1 м ² поверхности в абс. сухом состоянии, кг						Плотность слоя, кг/м ²
	проводников горения			трав и кустарничков	валежника	всего	
	мхов и лишайников	опада	подстилки				
1	0,25	0,13	0,66	0,29	0,057	1,39	11,55
2	1,41	0,23	1,91	0,15	0,99	4,69	22,18
3	0,96	0,16	1,45	0,66	0,11	3,34	32,12
4	1,17	0,12	1,26	0,13	1,23	3,89	18,75
5	1,41	0,10	1,56	0,18	0,87	4,14	28,09
6	1,61	0,035	0,88	0,13	0,16	2,83	21,07

Таблица 3

Группа типов леса (номер опытного участка)	Уравнение регрессии	Коэффициент множественной корреляции	Стандартная ошибка описания	Расчетный критерий Фишера
Лишайниковая (1, 4, 5, 6)	$y = 0,965 + 0,670x_1 - 0,012x_2 + 0,480x_3$	0,656	0,197	3,53
Зеленомошная (2)	$y = 0,604 + 0,262x_1 - 0,024x_2 + 0,477x_3$	0,481	0,299	2,07
Лишайниковая и зеленомошная (2, 3)	$y = 0,105 + 0,492x_1 - 0,002x_2 + 0,130x_3$	0,811	0,147	3,21
Лишайниковая (1—6)	$y = 0,079 + 0,506x_1 - 0,001x_2 + 0,109x_3$	0,823	0,124	4,89
Лишайниковая (1, 4, 5, 6)	$y = 0,300 + 0,370x_1 - 0,012x_2 + 0,455x_3$	0,447	0,272	2,58
Лишайниковая и зеленомошная (1—6)	$y = -0,287 + 0,618x_1 - 0,002x_2 + 0,580x_3 + 0,678x_4 - 0,071x_5 + 0,025x_6$	0,765	0,239	3,99
	$y = -0,752 + 0,551x_1 - 0,007x_2 + 0,457x_3 + 0,244x_4 - 0,007x_5 + 0,031x_6$	0,758	0,209	6,32

Таблица 4

Параметр фронтальной кромки пожара	Группа типов леса	Уравнение регрессии	Коэффициент множественной корреляции	Стандартная ошибка описания	Расчетный критерий Фишера
Высота пламени	Лишайниковая	$y = 0,712 + 0,164x_1 - 0,016x_2 + 0,273x_3$	0,597	0,147	3,69
	Зеленомошная	$y = 0,659 + 0,323x_1 - 0,008x_2 - 0,298x_3$	0,727	0,169	2,61
Ширина	Лишайниковая	$y = 0,567 + 0,164x_1 - 0,022x_2 + 0,431x_3$	0,552	0,216	2,92
	Зеленомошная	$y = 0,368 + 0,345x_1 - 0,006x_2 - 0,176x_3$	0,898	0,079	9,75
Глубина прогорания	Лишайниковая	$y = 0,061 - 0,024x_1 - 0,0002x_2 + 0,036x_3$	0,483	0,020	2,03
	Зеленомошная	$y = 0,085 + 0,004x_1 - 0,001x_2 - 0,018x_3$	0,529	0,018	0,91

Первоначально пожар имитировали на секциях опытных участков, ограниченных в виде длинных лент. Площадь каждой секции 500 м² (10 × 50 м). Большая сторона ленты соответствовала длине опытного участка и была направлена вдоль господствующих ветров. В дальнейшем площадь секций уменьшали до 50 м² (5 × 10 м), что также отвечало требованиям, предъявляемым к моделированию низового пожара [6].

В ходе выполнения огневых опытов, в момент прохождения очередного, отмеченного вешкой метра секции, фиксировали основные параметры кромки, причем два первых метра отводили на ее стабилизацию. Глубину прогорания почвенного покрова определяли после опытов по заранее установленным металлическим скобам.

Для вывода многофакторных уравнений использовали данные 35 огневых опытов, в том числе 329 промежуточных наблюдений. Полученный экспериментальный материал обрабатывали на ЭВМ СМ-4 с помощью пакета программ анализа данных «АНД».

В табл. 3 приведены многофакторные регрессионные уравнения скорости продвижения кромки. На примере этих моделей сделана попытка ответить на вопрос: можно ли с помощью некоторого небольшого числа моделей достоверно описать процессы горения (в данном случае скорость распространения фронта низового пожара), протекающие в существенно отличающихся друг от друга лесных участках? Такая попытка в настоящее время предпринимается (топливные модели в США).

В районе наших исследований разнообразие лесов невелико вследствие суровости климатических условий. Так, лиственничники представлены всего четырьмя группами типов леса. Казалось бы, при такой ситуации достаточно одной-двух моделей. Но это далеко не так. В лучшем случае возможно использовать по одному многофакторному уравнению для каждой группы типов леса. Так, значения скоростей, рассчитанные по второму уравнению, предназначенному для всех насаждений лишайниковой группы, лишь в 1,5 раза выше скорости продвижения фронта в лиственничнике можжевельном лишайниково-шикшевом, отнесенном к той же группе.

Если же для расчета скорости движения фронтальной кромки в лиственничниках лишайниковых использовать четвертый вариант модели, предназначенный для зеленомошной группы, то искомая величина занижается более чем в 2,3 раза. И, наконец, седьмая модель занижает значение скорости в 7,3 раза.

Дальнейшее укрупнение, объединение исходных данных даже для такого сравнительно однородного региона, как Центральная Эвенкия, приводит к получению моделей, слишком грубо отражающих процесс.

Наряду с этими моделями построены уравнения для расчета высоты пламени и ширины кромки, а также глубины прогорания (табл. 4).

С практической точки зрения, с позиции борьбы с лесными пожарами в условиях задымления, существенное значение имеет возможность определения скорости продвижения огня через ширину его кромки. Последняя, как известно, достоверно определяется с использованием ИК-аппаратуры на борту самолета-зондировщика.

Как показал анализ опытных данных, между скоростью продвижения кромки и ее шириной существует тесная связь ($r = 0,85$; $\eta = 0,73$). Эта зависимость выражается уравнением параболы второго порядка

$$y_i^2 = 0,071 + 0,788x + 0,295x^2.$$

Полученные модели описывают одну из сторон очень специфичной и слабо изученной природы пожаров в лесах на вечной мерзлоте. Но они, кроме того, могут быть полезны для определения объема работ и планирования тушения лесных пожаров, в том числе с использованием ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.—М.: Наука, 1976.—280 с. [2].