

634.9

864

II 509 363

*Возникновение*  
**ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

А К А Д Е М И Я  Н А У К  С С С Р

---

С И Б И Р С К О Е  О Т Д Е Л Е Н И Е  
И Н С Т И Т У Т  Л Е С А  И  Д Р Е В Е С И Н Ы

# ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

*Москва 1964*

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР  
канд. сельск.-хоз. наук *Н. П. Курбатский*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

---

В предлагаемой читателям книге публикуются результаты наблюдений, теоретических и экспериментальных исследований сотрудников лаборатории лесной пирологии Института леса и древесины СО АН СССР.

В статье Н. П. Курбатского рассматриваются вопросы горимости лесов, состояние их охраны и научной разработки проблемы в важнейших капиталистических странах, в РСФСР, в ее отдельных автономных республиках и областях; намечаются направления улучшения борьбы с пожарами и научной разработки проблемы. Статья содержит материалы, представляющие интерес для широкого круга лесоводов и лиц, занимающихся вопросами охраны природы.

В статье Э. Н. Валендика приводятся данные наблюдений о затухании и трансформации ветра в сосновых древостоях. Материалы статьи вносят значительные коррективы в существующие представления по этому вопросу. В статье дано обобщенное аналитическое выражение профиля ветра в сосняках при разных скоростях свободного ветра (над лесом). Кроме лесоводов, статья может представлять интерес для микроклиматологов и лиц, занимающихся применением аэрозолей в лесу.

Статья В. В. Франка посвящена рассмотрению взаимодействия пожара и атмосферы. В ней излагаются малоизвестные у нас результаты зарубежных исследований по этому вопросу, причем особое внимание уделяется атмосферным условиям возникновения крупных и очень интенсивных пожаров. Автор вносит предложение практически использовать признаки, характеризующие состояние атмосферы, при оценке перспектив развития пожаров и намечает программу дальнейших исследований.

В статье В. В. Фурьева изложены результаты аэровизуального и наземного маршрутного обследования шелкопрядников, а также стационарных исследований в них, проведенных в 1962 г. в Красноярском крае и Томской области. Дается описание состояния территории, древостоев и древесины, характеризуется пожароопасность шелкопрядников и ход процессов

возобновления в них, намечаются хозяйственные мероприятия, обосновывается предложение о выжигании площадей.

Коллективная работа типолога Т. С. Кузнецовой, лесоведа М. А. Софронова и почвовед М. П. Смирнова содержит материалы комплексного изучения последствий пожаров в кедровниках, процессов разрушения поврежденных огнем древостоев, изменений почвы и растительности, восстановления леса. Результаты исследований дают основания для проектирования лесохозяйственных мероприятий на горях в кедровниках Западного Саяна.

Статья Г. А. Амосова, посвященная изучению закономерностей в развитии лесных низовых пожаров (главным образом под влиянием ветра) представляет интересную в методическом отношении попытку математико-статистического анализа и обобщения результатов наблюдений. Работа дает практикам метод предвидения интенсивности низовых пожаров и восстановления картины пожара по характеру повреждений древостоя.

Авторы и редактор выражают глубокую признательность рецензенту сборника профессору доктору с.-х. наук Г. П. Мотовилову за большую помощь, оказанную им при подготовке статей и формировании сборника.

*Н. П. Курбатский*

## ПРОБЛЕМА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Проблема лесных пожаров — одна из древнейших в жизни человечества.

Как в далеком геологическом прошлом, так и теперь на отдельных участках суши ежегодно создаются условия, благоприятные для возникновения лесных пожаров. Независимо от человека, они возникают от молний и наиболее свойственны хвойным и особенно светлохвойным лесам.

В Скалистых горах и на Тихоокеанском побережье в США ежегодно регистрируют около 6500 пожаров от молний (Devis, 1959). На территории СССР пожары от молний часто возникают в ленточных борах Алтайского края (Грибанов, 1953), в борах Прииртышья Казахской ССР (Успенский, 1958) и в лесах Севера Европейской части СССР (Вангенгейм, 1939). Прослойки углей в древнейших слоях торфяников, свидетельствующие о пожарах в далеком прошлом, отмечают многие исследователи болот (Доктуровский, 1935; Кац, 1941; Пьявченко, 1955, 1958). Поэтому можно считать, что на земном шаре вместе с формированием климата, близкого к современному, с появлением светлохвойных лесов во время отступления ледников и, тем более, в конце четвертичного периода (в начале голоцена) лесные пожары стали распространенным явлением.

Судя по лесопожарной статистике, в пятидесятые годы текущего столетия на всех континентах ежегодно возникало примерно 200 тыс. лесных пожаров, причем около 3% из них были следствием молний. Это дает основания полагать, что в начале голоцена на земле от молний возникало несколько тысяч лесных пожаров. Весьма вероятно, что первобытный человек познал огонь и научился пользоваться им, часто сталкиваясь с пожарами в лесу, в степях и других природных ландшафтах.

На протяжении многовековой истории земледелия огонь служил человеку и служит до сих пор средством расчистки лесных площадей для сельскохозяйственного использования и средством улучшения лесных пастбищ. Вместе с тем огонь, стихийно распространяющийся по лесу, часто становится угрозой созревшим посевам хлебов, поселкам и жизни людей.

По мере роста населения и освоения лесных территорий, с развитием промышленности и транспорта на земном шаре увеличилось число источников огня. В районах с континентальным климатом и хвойными лесами создались условия, особо благоприятные для возникновения большого числа лесных пожаров. В продолжении жизни человечества, в результате особенностей хозяйственной деятельности и быта людей, ежегодное число лесных пожаров, по сравнению с числом природных пожаров от молний, увеличилось более чем в 30 раз, и теперь каждый год повреждается огнем более 0,1% всей площади лесного фонда. Проблема борьбы с лесными пожарами стала весьма актуальной во многих странах мира.

Рассмотрение горимости лесов, причин возникновения пожаров, основных направлений в развитии техники борьбы с пожарами, а также и состояние научных исследований у нас и в важнейших капиталистических странах позволяет наметить основные направления в разработке проблемы, а также узловые научные и технические вопросы, подлежащие первоочередному решению.

### Горимость лесов в капиталистических странах

И. С. Мелехов (1946) указывает на возможность лесных пожаров в большинстве стран мира, отмечая их некоторый географизм, обусловленный закономерностями изменений климата

Горимость лесов некоторых капиталистических

Название стран	Плотность населения (1949—1956)	Число пожаров на 100 тыс. га			
		1952	1953	1954	Среднее
Финляндия . . . . .	14	1,6	1,0	1,2	1,3
Швеция . . . . .	18	2,9	4,0	2,5	3,3
Ирландия . . . . .	43	16,9	16,6	20,7	18,1
Испания . . . . .	55	—	3,8	3,0	3,4
Франция . . . . .	77	13,5	19,7	13,9	15,7
Австрия . . . . .	83	2,3	6,9	4,1	4,4
Португалия . . . . .	89	15,7	43,2	30,6	29,8
Италия . . . . .	155	21,7	23,9	19,5	21,7
ФРГ . . . . .	196	22,3	19,0	29,8	23,7
Британия . . . . .	207	24,5	33,2	24,1	27,3
Бельгия . . . . .	284	24,8	31,2	—	28,0
Нидерланды . . . . .	317	32,2	48,4	87,0	55,9
Турция . . . . .	31	12,1	6,1	10,5	9,6
Израиль . . . . .	73	26,9	—	38,0	32,4

Примечание. Данные о горимости лесов любезно предоставлены нам

и растительности на поверхности земли. Географизм пожаров проявляется, в частности, в приуроченности их на северном и южном полушариях к наиболее теплым и сухим периодам года. С продвижением весны от тропиков в направлении полюсов продвигается и весенняя вспышка пожаров, наиболее характерная для умеренных и прилегающих к ним более высоких широт каждого полушария.

В межтропической зоне пожары бывают в декабре — марте. Возможность и время их возникновения здесь в наибольшей степени зависит от местных особенностей климата и лесной растительности. Они характерны для некоторых районов Центральной Африки, Мадагаскара, Индии, Цейлона, Вьетнама и Центральной Америки. Отмеченная закономерность во времени возникновения пожаров существенно нарушается особенностями климата, рельефа и растительности, а также и ходом погоды в отдельных странах. Поэтому она прослеживается лишь по результатам многолетних наблюдений как тенденция самого общего характера.

Если воспользоваться классификацией климатов Докучаева — Берга, то можно считать, что лесные пожары наиболее характерны для территорий с климатом тайги, лиственных лесов умеренной зоны, со средиземноморским климатом и с климатом степей. Пожары совсем не характерны для территорий с климатом влажных тропических лесов и тундр. На территориях с другими климатами пожары возможны.

Т а б л и ц а 1

стран Европы и Средиземноморья

Средняя площадь пожара, га				Горимость лесов, %			
1952	1953	1954	Средняя	1952	1953	1954	Средняя
2,6	41,5	2,5	15,5	0,004	0,040	0,003	0,015
1,0	1,2	1,2	1,1	0,003	0,005	0,003	0,004
13,6	16,2	0,9	10,2	0,230	0,270	0,019	0,173
—	23,8	15,3	13,0	—	0,090	0,046	0,068
16,3	13,7	8,3	12,8	0,319	0,270	0,120	0,238
1,3	1,3	1,2	1,3	0,003	0,009	0,005	0,005
4,4	27,8	15,7	47,9	0,007	0,120	0,048	0,058
9,1	8,8	11,8	9,9	0,198	0,210	0,230	0,213
0,9	1,1	2,0	1,3	0,020	0,020	0,058	0,033
1,4	1,8	1,7	1,6	0,034	0,059	0,041	0,045
2,2	2,3	—	2,2	0,054	0,071	—	0,062
0,9	1,4	1,6	1,3	0,030	0,070	0,140	0,080
48,6	26,2	32,2	35,7	0,588	0,162	0,337	0,306
37,2	—	9,7	23,4	1,000	—	0,370	0,518

С. П. Анцышкиным, а сведения о плотности населения заимствованы из БСЭ.



Кроме климатических условий и особенностей лесов, возникновение лесных пожаров очень сильно зависит от густоты населения, степени хозяйственного освоения лесных территорий и общественного строя. Наибольшее относительное число пожаров возникает в капиталистических странах Западной Европы и в США, где плотность населения очень большая. Известна также высокая горимость лесов в Канаде (Forêt Conservation, 1961) и большая разрушительная сила пожаров в Австралии (Proceedings of the weather conference, 1958).

По материалам Восьмой сессии Европейской лесной комиссии ФАО<sup>1</sup> (Ковалин и Шинёв, 1956), в большинстве капиталистических стран Западной Европы число загораний на 100 тыс. га площади лесного фонда в начале пятидесятых годов было очень велико (табл. 1) и, как увидим в дальнейшем, значительно превосходит число загораний на территории СССР.

Наиболее неблагоприятны по числу пожаров в Европе Нидерланды, Португалия, Бельгия и Британия, где на 100 тыс. га площади лесного фонда приходится от 16 до 87 пожаров в год. ФРГ по числу пожаров занимает среднее место.

Средняя площадь одного пожара в капиталистических странах Европы редко превышает 20 га. Это объясняется расчлененностью лесов полями и дорогами. Густая сеть дорог создает благоприятные предпосылки для ликвидации пожаров в начале их возникновения. Однако необходимо указать, что в 1949 г. в гасконских лесах Франции один пожар охватил 133 тыс. га и в огне этого грандиозного пожара погибло 84 тушильщика (Кашин и Гриценко, 1950)<sup>2</sup>.

Относительная горимость лесов в Западной Европе в начале пятидесятых годов колебалась по отдельным странам от 0,004 до 0,238%. Наиболее низкая горимость, в среднем на уровне 0,009%, характерна для скандинавских стран и Финляндии, что в значительной степени объясняется спецификой климата в зоне интенсивного влияния Гольфстрима. Имеет, по-видимому, значение также и то, что в экономике этих стран лесное хозяйство и лесная промышленность играют большую роль и охране лесов в них уделяют большое внимание (Васильев и Жуков, 1961).

Данные табл. 2, составленной по ежегодным статистическим публикациям Государственной пожарной инспекции Швеции (Ströndahl, Holmberg, 1957—1962), подтверждают высокий уровень расходов в этой стране на тушение пожаров. Большие расходы на борьбу с пожарами обеспечивают ликвидацию их в начале возникновения и снижают убытки.

---

<sup>1</sup> Food and Agricultural Organisation — Международная продовольственная и сельскохозяйственная организация.

<sup>2</sup> В канадском реферативном журнале (Forest Fire Protection Abstracts 1950, № 2) со ссылкой на английский отчет указываются большие числа.

Таблица 2

## Горимость лесов в Швеции

Год	Число пожаров на 100 тыс. га лесного фонда	Горимость лесов, %	Средняя площадь пожара, га	Средний убыток от одного пожара, руб.	Средняя стоимость тушения одного пожара, руб.	Среднее число чел.-веко/часов на тушение одного пожара
1947	9,2	0,021	2,3	—	79,97	195
1954	2,5	0,003	1,2	31,16	63,01	—
1955	10,9	0,019	1,7	117,71	102,82	111
1956	6,3	0,008	1,3	133,29	77,90	78,9
1957	6,5	0,005	0,75	40,85	55,39	42,2
1958	7,0	0,007	1,0	79,63	60,94	43,0
1959	30,7	0,039	1,3	113,55	91,92	83,5
1960	10,7	0,014	1,33	—	128,27	74,6
Среднее . .	10,5	0,0145	1,36	—	—	—
Коэффициент регрессии	1,67	0,0011	-0,11	—	—	—

Примечание. Переход в нашу денежную систему произведен из расчета—100 крон равняются 17,31 руб. по курсу мая 1963 г.

Число пожаров в Швеции за последние годы рассматриваемого периода возрастало, а в связи со стабильностью средней площади пожара несколько возрастала и относительная горимость лесов, хотя общий уровень ее остается низким.

В остальных странах Европы средняя горимость, взвешенная по площадям лесного фонда, равна 0,131%. Особенно высокой относительной горимостью лесов выделяются Франция (0,238%) и Италия (0,213%). По расчетам Векка (Week, 1950), в ФРГ ежегодные потери прироста древесины в результате пожаров составляют 300 тыс. плотных м<sup>3</sup>.

Турция и Израиль отличаются очень высокими показателями горимости лесов. Это объясняется как климатическими особенностями, так и состоянием лесного хозяйства.

Среднее число пожаров в европейских странах, приходящееся на 100 тыс. га лесного фонда, закономерно возрастает по мере увеличения плотности населения. Эта закономерность несколько нарушается в Испании и Австрии, в связи с особенностями расположения лесов (табл. 1). Но и при этом связь числа пожаров с плотностью населения выражается коэффициентом корреляции +0,84. Вероятность случайного значения коэффициента, вычисленная по способу Фишера, при этом равна 0,0001. Рассматриваемая закономерность практически достаточно точно выражается корреляционным уравнением:

$$Y_1 = 3 \div 0,128X$$

с основной ошибкой (по Митропольскому)  $\pm 8$ , где  $X$  — плотность населения, а  $Y_1$  — число пожаров на 100 тыс. га площади лесного фонда. Высокая степень связи числа пожаров с плотностью населения объясняется тем, что обычно она отражает насыщенность территории источниками огня, которые могут вызывать пожары.

Связь среднего размера пожара  $Y_2$  с плотностью населения характеризуется коэффициентом корреляции  $-0,57$  и уравнением:

$$Y_2 = 11,61 - 0,0345X.$$

Эта связь менее тесная, так как размер пожаров сильнее, чем число пожаров, варьирует в зависимости от особенностей сезона. Кроме того, во втором случае большое влияние оказывает и состояние охраны лесов, хотя оно обычно улучшается по мере увеличения плотности населения. Коэффициент корреляции связи относительной горимости с плотностью населения еще ниже: он равен  $-0,03$ , т. е. указывает на отсутствие связи.

Среди капиталистических стран особенно высоким уровнем загораемости лесов отличаются США. По нашим расчетам на основе данных, опубликованных Девисом (Devis, 1959), за двадцатилетие (с 1935 по 1954 г.) относительное число пожаров там было на уровне наиболее высоких показателей для стран Западной Европы, исключая Нидерланды (табл. 3),

Таблица 3

Уровень и динамика горимости лесов в США  
(общая площадь лесного фонда 252 млн. га)

Годы	Охраняемая площадь, тыс. га	Число пожаров, в год	Число пожаров на 100 тыс. га в год	Площадь, поврежденная огнем в год, тыс. га	Средняя площадь пожара, га	Ежегодная горимость лесов, %
1935—1939	162260	74522	45,9	1199	16,1	0,7390
1940—1944	187150	80227	42,9	1431	17,8	0,7645
1945—1949	220200	73775	33,5	1094	14,8	0,4971
1950—1954	236150	114146	48,3	1062	14,3	0,6785
Среднее . . . . .	—	—	42,6	—	15,8	0,6698
Коэффициенты регрессии . . . . .	—	—	$-0,045$	—	$-0,17$	$-0,0090$

хотя плотность населения в США в 1951 г. была 20 чел. на 1 км<sup>2</sup>, т. е. значительно ниже, чем в Европе. Самый высокий показатель числа пожаров — 48,3 на каждые 100 тыс. га охраняемой площади был в США за последнее пятилетие рассматриваемого периода. Но благодаря тому, что в предпоследнее пя-

тилетие пожаров было меньше среднего их числа, коэффициент регрессии для всего периода получился отрицательным.

Средняя площадь одного пожара в США значительно больше, чем в капиталистических странах Европы, но она также имеет некоторую тенденцию к снижению. Это означает, что в США пожары стали гасить быстрее, а крупные развиваются реже. Браун (Brown, 1960) отмечает, что в недавнем прошлом на небольшое число крупных стихийных пожаров в США приходилось 80—90% площади, пройденной огнем.

Относительная горимость лесов США за двадцатилетие равна 0,67%. Это наиболее высокий уровень горимости лесов на земном шаре. Для полноты характеристики необходимо отметить, что свыше 6% лесов США еще не охраняются и горимость лесов на этой территории не учитывается. Заместитель начальника лесной службы США Хенди сообщает (Hendee C. W., 1962), что за последние пять лет достигнуто дальнейшее существенное снижение горимости лесов. В 1961 г. в США было 93 тыс. пожаров и повреждено огнем только 1,2 млн. га.

Данные о горимости лесов в Канаде, появляющиеся в периодической печати, недостаточно полны и противоречивы. В 1961 г. в журнале *Forêt Conservation* опубликованы наиболее полные сведения за 1924—1959 гг.; они приведены (табл. 4) с предварительной группировкой, для краткости, по пятилетиям. Для Канады характерны резкие изменения горимости в отдельные годы, по-видимому, под влиянием особенностей хода погоды. Например, в 1928 г. было 295, а в 1953—2257 пожаров. Увеличение числа пожаров обычно сопровождается увеличением и средней площади одного пожара. В те же годы средняя площадь пожара была соответственно 8,8 и 103 га, а в 1932 г. уже 280,4 га при 1466 пожарах. В пятилетии, окончившемся в 1959 г., ежегодно в среднем возникало по 714 пожаров при средней их площади 85,3 га. Эти соотношения косвенно

Таблица 4

Изменения горимости лесов в Канаде по пятилетним периодам

Годы	Число пожаров в год	Площадь поврежденная огнем в год, тыс. га	Средняя площадь пожара за период, га	Годы	Число пожаров в год	Площадь поврежденная огнем в год, тыс. га	Средняя площадь пожара за период, га
1925—1929	528,2	9,00	17,0	1950—1954	1085,2	93,26	85,9
1930—1934	1142,4	122,44	107,2	1955—1959	714,0	60,90	85,3
1935—1939	974,4	49,14	50,4	Средние за год . . .	968	—	78,4
1940—1944	1148,6	190,34	164,5				
1945—1949	1183,2	45,26	38,3	Коэффициенты регрессии	23,3	—	0,67

подтверждают, что в Канаде охрана лесов слаба и что изменения горимости лесов в отдельные годы сильно зависят еще от хода погоды.

Коэффициенты регрессии, вычисленные нами по данным табл. 4, указывают на систематическое возрастание в Канаде числа и средней площади пожара. Данными о площади охраняемых лесов в этой стране мы не располагаем, поэтому нет возможности сопоставить уровень горимости ее лесов с уровнем в других странах в сравнимых относительных величинах и более строго судить о тенденциях в ее изменении. Однако большая средняя площадь пожара указывает на высокий уровень горимости лесов.

Таблица 5

Горимость лесов в штате Новый Южный Уэльс Австралии  
(площадь лесов, к которым относятся данные, — 2450 тыс. га)

Пожаро-опасный сезон	Число пожаров на 100 тыс. га	Средняя площадь пожара, га	Горимость, %	Затраты на охрану лесов	
				тыс. руб.	процент от всех затрат на лесное хозяйство
1949/50	4,08	130	0,2	142,71*	4,2
1950/51	5,09	392	0,8	203,01	5,0
1951/52	43,20	1294	21,3	765,81	15,8
1952/53	6,97	46,8	0,1	508,53	11,9
1953/54	21,75	309	2,7	681,39	15,7
1954/55	5,62	109	0,3	586,92	12,6
1955/56	10,09	174	0,7	490,44	10,1
1956/57	26,22	182	1,9	508,53	9,3
1957/58	39,45	474	7,3	695,46	11,9
1958/59	7,94	56,4	0,2	490,19	7,5
Среднее . .	17,04	316,7	3,55	—	—
Коэффициент регрессии . .	0,68	—33,1	—0,32	—	—

Примечание. Из расчета—один австралийский фунт равняется 2,01 руб.

Приближенное представление о горимости лесов в Австралии дает табл. 5. Она составлена нами на основании материалов, приведенных в докладе Люка (Luke, 1960) на V Всемирном конгрессе лесоводов, и относится лишь к штату Новый Южный Уэльс. Площадь лесов штата вычислена по данным о суммарной площади пожаров в сезон 1951—1952 гг. и проценту, который она составляет от всей площади лесов. Если исключить особо горимый сезон 1951—1952 гг., для остальных лет средний уровень горимости будет равен 1,6%. Этот чрезвычайно высокий уровень горимости — результат очень боль-

шого числа пожаров крупного размера. Судя по материалам доклада, условия борьбы с лесными пожарами там бывают исключительно тяжелые, так как в открытых эвкалиптовых лесах фронт пожара может продвигаться со скоростью 160 м/мин. Правда, вероятность появления таких условий небольшая. Необходимо отметить также и очень низкий уровень расходов на охрану лесов при таких условиях.

Выявление причин и виновников лесных пожаров крайне затруднено. Поэтому достоверность статистики причин лесных пожаров невысокая. В зарубежной лесопожарной статистике пожары по невыясненным причинам составляют обычно от 20 до 50% их общего числа. В капиталистических странах наиболее распространенная причина — неосторожное обращение населения с огнем. В Швеции пожары от неосторожного обращения с огнем составляют 56%, во Франции — 31,3, в Италии — 18,7 (Анцышкин, 1957), в ФРГ — 57,5 (Weck, 1950), в США — 27,9% (Davis, 1959); пожары от искр паровозов железных дорог в тех же странах составляют от 2 до 13%, в зависимости от уровня применения паровозной тяги. Очень распространен и характерен для капиталистического мира умышленный поджег. В США на поджег приходится 29,1%, в ФРГ — 9, во Франции — 2,1, в Италии — 6,7%.

Сильно изменчива доля пожаров от молний. Наибольшей величины она достигает в США — 8,7%, в ФРГ — 1,5 в Швеции — 2,8, во Франции — 1,6 и в Испании — 1,1%. В США 18,8% пожаров возникает при лесозаготовках и сжигании порубочных остатков. Число пожаров от молний в США, по-видимому, несколько преувеличено, так как первые поселенцы колонизаторы встретили там прекрасные леса.

Таблица 6

Распределение пожаров по причинам их возникновения в Швеции за ряд лет, %

Причина возникновения пожаров	1944—1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Молнии . . . . .	11,4	2,8	12,3	9,4	3,9	3,5	8,1	5,6
Железные дороги . .	19,9	14,4	11,3	9,7	12,0	9,1	8,0	7,3
Умышленный поджог	2,1	0,2	4,0	0,2	0,1	0,1	0,4	0,5
От лесозаготовок . .	13,0	23,0	6,3	11,0	11,5	14,9	2,1	12,9
От лесохозяйственных работ . . . . .	3,7	7,0	2,5	4,1	4,0	5,4	6,7	4,2
От курильщиков . . .	6,1	5,0	3,4	3,2	3,0	2,4	4,2	3,2
Шалости детей . . .	11,5	17,4	10,2	15,3	23,4	30,4	15,6	18,9
От лагерей туристов .	5,5	2,4	4,3	2,6	2,5	1,7	3,8	2,3
Прочие причины . . .	7,2	7,1	5,7	5,3	7,3	10,3	11,0	11,6
Неизвестные причины	19,6	20,7	40,0	39,2	32,3	22,2	40,1	33,5

Наиболее подробные данные о причинах возникновения пожаров ежегодно публикуются в Швеции (Stromdahl, Holmberg, 1957—1962). В табл. 6 приведена сводка этих данных, которая позволяет проследить тенденции в изменении причин пожаров за последние 17 лет. По этим данным, доля пожаров от молний резко колеблется, причем она заметно выше в засушливые годы, когда пожаров много. Доля пожаров от искр паровозов закономерно понижается. Часть пожаров, возникающих при лесозаготовках и лесохозяйственных работах, остается постоянной. Число пожаров от неосторожного обращения с огнем туристов заметно растет, что, по-видимому, связано с общим ростом туризма. Необычной является большая доля пожаров, вызванная шалостью детей.

Итак, сопоставляя показатели горимости лесов в отдельных капиталистических странах, необходимо отметить общее закономерное увеличение числа пожаров в зависимости от плотности населения. Эта закономерность объясняется тем, что большая часть пожаров возникает от неосторожного обращения с огнем населения. Поэтому, чем больше густота населения, тем при прочих равных условиях пожаров больше. В некоторых странах возникновение повышенного числа пожаров или, наоборот, пониженного вызывается, по-видимому, климатическими особенностями территорий.

В Канаде и Австралии число пожаров за последние годы продолжает увеличиваться. В США и Швеции оно стабильно или увеличивается незначительно. Такое соотношение может быть объяснено продолжающимся освоением лесной территории в первых двух странах.

Средняя площадь пожара в европейских странах по мере роста плотности населения уменьшается, что отражает улучшение условий тушения пожаров. Эта тенденция проявляется в последние годы в США и Швеции; исключение составляет лишь Канада, где по данным за 35 лет средний размер пожара увеличивается.

Острота проблемы лесных пожаров в капиталистических странах определяется, в первую очередь, частной собственностью на леса. В большинстве стран капиталистического мира около  $\frac{3}{4}$  лесного фонда принадлежит частным лицам и компаниям, и лишь небольшая часть — государству. Во многих случаях прямые убытки от пожаров значительно меньше косвенных. Лесовладельца же непосредственно затрагивают только прямые убытки. Нарушение режима рек, ухудшение климата, ветровая и водная эрозия, а также и другие последствия пожаров не служат для лесовладельца существенным стимулом производства капитальных работ и крупных текущих затрат на охрану лесов от пожаров. Они обычно ограничиваются страхованием лесов от пожаров, что особенно распространено в ФРГ

(Weck, 1950) и Швеции. Поэтому правительства многих стран капиталистического мира под давлением общественных организаций вынуждены разрабатывать различные системы принуждения и поощрения лесовладельцев к обеспечению охраны лесов от пожаров. В некоторых странах правительства покупают леса у частных лиц с целью обеспечения их сохранности.

### **Особенности охраны лесов в важнейших капиталистических странах**

Техника охраны лесов в капиталистических странах не единообразна. Состояние ее зависит от общего уровня развития хозяйства в стране, от значения лесов в хозяйстве и ряда других факторов. Вместе с тем имеются и общие черты, характерные для многих стран.

В зарубежной практике охраны лесов от пожаров в настоящее время определились три направления развития: 1) предупреждение пожаров; 2) мероприятия, облегчающие тушение возможных пожаров и снижающие ущерб от них; 3) тушение пожаров.

Для предупреждения пожаров проводится пропагандистская работа среди населения, осуществляются законодательные, административные и организационно-технические мероприятия. К новым элементам в пропагандистской работе, которая проводится на принципах рекламы, относится стремление дифференцировать ее применительно к различным группам населения. В области законодательства наблюдается стремление повысить ответственность лиц, виновных в возникновении пожаров. Наиболее строгую ответственность за лесной пожар предусматривают законы в ФРГ (Weck, 1950). В США отмечается (Devis, 1959) отказ лесовладельцев от судебного преследования виновников пожаров в связи с тем, что их собственности может быть нанесен еще больший ущерб.

В связи с увеличением числа загораний по мере роста населения и снижения процента лесистости предупреждению пожаров в зарубежной практике придают все большее значение. Мероприятия, направленные на предупреждение пожаров, при сравнительно небольших затратах на их осуществление дают значительный эффект.

К мероприятиям второго направления в настоящее время относится сигнализация и прогнозы пожарной опасности в лесах, наблюдение за лесной территорией с целью скорейшего обнаружения пожаров, улучшение средств связи, расчленение лесной территории всевозможными преградами против огня, сгущение и улучшение сети дорог, подготовка сил и средств пожаротушения.



Лесные пожары — эпизодическое явление, существенно зависящее от хода погоды. Изучение природы пожаров и развитие метеорологии в последние три десятилетия создали благоприятные предпосылки для определения и предвидения периодов повышенной пожарной опасности. Значение сигнализации пожарной опасности возрастает по мере усложнения технических средств пожаротушения и повышения стоимости их содержания. Оповещение лесной охраны и населения о степени пожарной опасности в лесу через широкоэвещательные радиостанции одновременно с сообщениями о погоде осуществляется в США, Канаде, Швеции и ФРГ. Как показывает опыт этих стран, такие меры весьма эффективны.

Наблюдение за лесной территорией в пожароопасный сезон — наиболее распространенное противопожарное мероприятие. В последние два десятилетия большое значение в наблюдении за лесами приобрела авиация, которую применяют в практике охраны лесов США, Канады и Швеции. В США и Швеции наиболее целесообразным признается сочетание наблюдения с вышек и авиационного патрулирования. Наблюдение с вышек практически непрерывно и обеспечивает своевременное обнаружение пожаров, а осмотр их с самолета дает наиболее точные данные о месте и обстановке пожара. Такое сочетание способов особенно полезно в горах.

Весьма распространенные в прошлом деревянные вышки все в большей мере заменяются металлическими конструкциями. В Канаде недавно начали применять пожарные наблюдательные мачты из металлических труб с кабиной из пластмассы (MacLeod, 1960).

Улучшение связи экономит время от момента обнаружения до начала тушения, которое остается важнейшим фактором в борьбе с лесными пожарами. Улучшение связи в лесу осуществляется за счет широкого применения радио, но наиболее надежным признается использование проводной телефонной связи.

В тридцатых и сороковых годах в охране лесов США большое значение придавали расчленению лесной территории противопожарными разрывами и минерализованными полосами. При этом предполагалось, что разрывы и полосы будут автоматически ограничивать распространение пожаров в клетках, заранее определенных размеров. Однако опыт последних двух десятилетий показывает, что разрывы и полосы сами по себе не задерживают огня, распространяемого ветром, и полезны лишь как опорные линии для мероприятий по локализации пожаров.

Девис (Davis, 1959), обобщая наиболее распространенное отношение к этим мероприятиям в США, указывает, что при сильных пожарах на разрывы и полосы полагаться нельзя, а

при слабых можно обойтись без них. Полосы требуют большого ухода. Без ухода полосы и разрывы зарастают и сохраняются лишь те, которые превращены в дороги. Поэтому в США, а в последнее время и в Швеции, предпочитают расширять и улучшать сеть дорог. В ФРГ применяют пожарные заслоны.

Замена противопожарных разрывов заслонами основана на том, что для остановки верховых пожаров нужны преграды шириной не менее 300 м. Такими преградами могут служить древостои из лиственных пород или из хвойных, в которых нет горимого подроста и подлеска, а с поверхности почвы убраны горючие материалы. Против низового огня в заслонах создают еще обычные минерализованные полосы и получают абсолютную преграду против лесных пожаров. Площадь под заслонами, в отличие от разрывов, остается нормально продуцирующей, и в этом их большое преимущество.

Создание разрывов, просек, минерализованных полос, канав, водоемов и, тем более, противопожарное дорожное строительство требуют значительных затрат. Судя по литературным данным, все эти мероприятия в зарубежной практике осуществляются в ограниченных размерах, преимущественно в лесах с интенсивным хозяйством. Из всех этих мероприятий наиболее важно дорожное строительство, но оно осуществляется в соответствии с общехозяйственными нуждами или потребностями лесной промышленности и лесного хозяйства.

В последние годы получает распространение создание лесных пожарных депо, станций и пунктов с противопожарным инвентарем. Для охраны небольших территорий создают пункты со сравнительно небольшими средствами пожаротушения. На станциях, предназначенных для борьбы с пожарами на большой территории, образуют уже повышенные запасы простой, а также и более мощной техники пожаротушения. Среди этих мероприятий все большее значение приобретает строительство специальных лесопожарных аэродромов для самолетов и посадочных площадок для вертолетов, которые одновременно являются пунктами сосредоточения сил и средств пожаротушения. Особенно большое значение придают этому в США. Чтобы подчеркнуть важность мероприятия, на открытии одной из баз авиационной охраны лесов присутствовал президент.

Третье направление — тушение пожаров, совершенствуется в настоящее время преимущественно на основе механизации. Однако вследствие разнообразия условий тушения и самих пожаров наряду со сложной техникой применяются и сохраняют свое значение в качестве подручных средств такие старинные ручные инструменты, как мотыга, лопата, грабли. Применяется даже захлестывание ветвями; последнее рекомендуется в

официальных обращениях к населению в Англии и ФРГ. В США и Канаде для захлестывания предлагают также мокрые мешки, надетые на палки с крестовиной. Для практики тушения пожаров в США, в районах с хорошо развитой сетью дорог, характерно тушение пожаров водой с помощью насосов, а также локализация с помощью плугов и бульдозеров. Вместе с тем там, где сеть дорог недостаточно густа, применяют переносные аппараты для индивидуального и реже группового использования: легкие грунтометы, переносные мотопомпы, опрыскиватели, зажигательные аппараты для отжига. В таких районах практикуется и высадка к пожарам парашютных десантов, доставка лесных пожарных на вертолетах. Для прокладки минерализованных полос в США применяют взрывчатые вещества.

Большое значение придают отжигу, который рекомендуют применять не только при сильных пожарах, но и при слабых — для сокращения объема работ по локализации путем спрямления границ площади, охваченной огнем.

За последние 5 лет в США быстро расширяется тушение пожаров с самолетов водой, суспензиями боратов и бентонитом в состоянии геля, но эффективность этого способа еще изучается.

В Канаде техника тушения лесных пожаров очень сходна с техникой США. Там используют бульдозеры, предназначенные для дорожного строительства, широко применяются отжиг и тушение водой. О масштабах применения воды при тушении лесных пожаров можно судить по тому, что ежегодно для этого лесные организации покупают 45 000 м выкидных пожарных рукавов. В Канаде применяется и выливание воды с самолетов.

В США и Канаде для тушения лесных пожаров государственные органы лесного хозяйства создают специальные команды и группу тушителей, организуют взаимопомощь лесовладельцев, с которых взимается погектарная плата за охрану лесов.

В ФРГ, Швеции и Финляндии тушением лесных пожаров занимаются штатные и добровольные пожарные команды населенных пунктов, которые работают под руководством государственной пожарной инспекции. По законам этих стран население обязано принимать участие в ликвидации лесных пожаров. При такой организации пожарные применяют те же средства, что и при тушении пожаров в населенных пунктах, даже пенные огнетушители. Население, привлекаемое к тушению пожаров, естественно, использует преимущественно подручные средства и простейшие инструменты.

Использование современных технических средств для борьбы с лесными пожарами вынуждает органы охраны лесов создавать постоянные кадры лесных пожарных.

Резюмируя, скажем, что лесное хозяйство капиталистических стран не располагает какими-либо особо эффективными способами тушения пожаров или высокоэффективными огнегасящими веществами. Можно считать, что некоторая стабилизация числа пожаров в США и Швеции достигается энергичной пропагандой идей сбережения леса, на которую выделяются значительные средства. Имеет значение и строгое законодательство.

Небольшая средняя площадь пожаров характерна только для стран с большой плотностью населения, где леса обычно расчленены и где имеется густая сеть дорог, а хозяйства хорошо механизированы. В капиталистических странах очень большие пожары редки благодаря расчлененности лесов, густой сети дорог и высокому уровню механизации хозяйств. При этом имеет значение также надлежащая организация охраны, сигнализация пожарной опасности и наблюдение за лесами.

### **Научно-техническая разработка проблемы за рубежом**

Научная разработка проблемы лесных пожаров осуществляется соответственно нуждам практики, отражая ее особенности в отдельных странах. Состояние разработки проблемы за рубежом по докладам на V Всемирном конгрессе лесоводов у нас было освещено А. Б. Жуковым (Баженов, Васильев и др., 1962), но естественно, недостаточно полно. По данным ФАО (Research in Forestry and Forest Products, 1953), научная разработка вопросов лесной пирологии, кроме СССР, ведется в 10 странах: США, Канаде, Аргентине и Бразилии, во Франции и в некоторых ее бывших колониях, а также в Австрии, Швейцарии, Индии, на Цейлоне и в Новой Зеландии. Исследовательские работы по проблеме проводятся также в Японии, Швеции и Австралии. В периодической печати имеются сообщения о работах в ФРГ и Финляндии.

Наиболее интенсивно эти работы ведутся в США, где лесные пожары стали национальным бедствием. С 1948 по 1958 г. в США в огне лесных пожаров погибло 188 чел. (Schlapfer, 1958). Разработкой лесопожарной тематики в США в начале пятидесятых годов занимались 13 государственных и 3 частных научных учреждения. По инициативе Национальной Академии наук в 1955 г. там создан Комитет пожарных исследований, находящийся в ведении Департамента обороны и одновременно Лесной службы Департамента земледелия.

В области лесопожарной профилактики в США уделяют много внимания углубленному изучению причин пожаров. При этом стремятся выяснить побудительные причины неосторожного обращения с огнем с целью более эффективного предупреждения пожаров (Chandler, 1958, 1961). В методическом

отношении интересна попытка обследования отдельных групп населения с точки зрения отношения к лесным пожарам и знания правил обращения с огнем в лесу. Такая работа дает информацию об эффективности разъяснительной работы.

В США разрабатывается вопрос о предупреждении пожаров от молний, в частности усилия направлены на рассеивание грозовых облаков преимущественно с помощью наземных и авиационных генераторов йодистого серебра (Bargows, 1958 и 1960).

Работы по противопожарному устройству лесов, как отмечалось, очень дороги. Поэтому там ведут поиски методики оценки эффективности противопожарных мероприятий (Chandler, 1958), чтобы определить целесообразный размер затрат на них.

В США очень много внимания уделяют разработке вопросов сигнализации и прогнозирования пожарной опасности погоды. Настойчиво выдвигается предложение — различные по стране суммарные показатели пожарной опасности заменить единой стандартизированной системой, которая разносторонне характеризовала бы пожарную опасность (Coutryman, 1958), но технически разработанных предложений еще не опубликовано.

Одновременно с поисками единой системы оценки пожарной опасности ведутся исследования о влиянии местных особенностей климата на возникновение и развитие пожаров (Schroeder, 1958) и особенно о влиянии ветра. Интересные и важные работы проведены о размещении метеорологических станций, густоте их сети, в связи с неравномерностью осадков. Ведется разработка портативных и автоматических стационарных метеорологических приборов и целых станций, которые выезжают в район пожара для прогнозирования местной погоды (Hardy, 1958).

В последнее десятилетие изучение природы пожаров по своему содержанию значительно расширяется. Так, Рейфсnyder (Reifsnyder, 1960) отмечает необходимость исследования связи горимости лесов с климатической зональностью Кеппена, необходимость исследования влияния климатических флуктуаций на пожароопасность сезонов и формирование многолетних засух, необходимость поисков основ для предсказаний степени пожароопасности отдельных сезонов и чередования пожароопасных периодов в пределах сезонов в связи с изменениями погоды синоптического масштаба, а также и суточных изменений метеорологической обстановки. Специалисты США подчеркивают необходимость детального изучения влияния профиля ветра и термической структуры атмосферы на развитие пожаров. Они изучают изменения ветра под влиянием пожара (Coutryman и Schroeder, 1960). Однако конкретных материа-

лов по этим вопросам практически не публикуется и разработаны они, по-видимому, еще слабо.

Большое значение в США придают изучению природы так называемых «взрывных» пожаров, т. е. очень интересных верховых пожаров, за короткий срок охватывающих большие площади. Возникновение таких пожаров связывают со специфическими состояниями атмосферы. Для экспериментального изучения влияния атмосферы на состояние горючих материалов и на развитие пожаров созданы две крупные лаборатории. В них теперь должны быть уже начаты работы по моделированию пожаров и изучению влияния различных факторов как изолированно, так и в сочетаниях (Baggows, 1958). В этой постановке вопроса остается однако неясным способ моделирования леса с его весьма неоднородной и своеобразной средой. В задачи лабораторий входит также изучение физики и химии горения при лесных пожарах, хотя конкретные направления этих работ не публикуются. Можно предполагать, что они должны дать новые средства и способы тушения.

Изыскания огнегасящих химикатов в США направлены на опробование различных руд типа боратов. Ведутся широкие испытания суспензий боратов с добавкой розового анилинового красителя (Hesterberg, 1960). Без красителя суспензия бората, подготовленная для тушения, стоит 45 долларов за 1 м<sup>3</sup> (Davis, 1959; Greeley, 1960). Бораты, по-видимому, уступают по эффективности бентониту, стоимость которого к тому же в 12 раз меньше. Американцы ведут поиски лучших смачивателей, пенообразователей, способов повышения вязкости воды и ингибиторов пламени.

Осуществляются попытки применить жидкий азот (Phillips, 1958). Повышение вязкости воды необходимо, по-видимому, для увеличения эффективности выливания ее с самолетов, а жидкий азот, следует полагать, является быстро действующим охлаждающим средством. В основном же в США поиски направлены на механизацию тушения.

В 1958 г. на заседании Западного комитета по лесным пожарным исследованиям из 15 докладов 4 были посвящены новым конструкциям машин, аппаратов и снаряжения. Наиболее интересные работы: модернизация и оборудование противопожарными средствами легкого военного транспортера на гусеницах; создание цистерны в виде большого мешка из пластмассы для перевозки воды в самосвалах; применение поляроидной камеры для фотографирования пожаров с самолетов и быстрого изготовления отпечатков в воздухе; создание выкидных рукавов весом по 5 и 7 кг (при переводе на нашу стандартную длину — 20 м). Эти рукава имеют диаметр всего лишь 25 и 37 мм соответственно, но они выдерживают напор до 90 *ати* (Wakllee, 1958).

Заслуживают внимания также моторный транспортер для передвижения по тропам; малогабаритная машина весом 42 кг для создания минерализованных полос и улучшения троп; бак к вертолету для перевозки суспензий боратов и воды; устройство для подвески грузов под вертолетом (Harris, 1958). На заседании предлагались еще легкая мотопомпа для транспортировки на вертолете; устройства для выливания жидкости с вертолета на пожар и в емкости; облегченные бульдозер и кусторез (Shields, 1958).

Судя по опубликованным материалам, там разрабатывается много мелкого оборудования и снаряжения. Например, в опытным порядке созданы защитные костюмы и пояса для парашютистов, походные сумки для лесных пожарных, защитные очки, легкие кухни, одежда из алюминизированной ткани и т. п.

Американцы подчеркивают необходимость стандартизации пожарного оборудования и, вместе с тем, высказывают жалобы на трудности проведения этого мероприятия, так как оно затрагивает интересы фирм-изготовителей и лесовладельцев. Разнотипность же оборудования чрезвычайно осложняет и даже исключает совместное использование пожарного оборудования, принадлежащего различным владельцам.

В США в течение последних пяти лет технически совершенствуют выливание воды и суспензий боратов на пожары с самолетов. В 1960 г. ее было вылито 18 тыс. м<sup>3</sup> (Murray, 1961). С научно-технической стороны интересно, что там стремятся выбросить из воздушного танкера одновременно весь запас жидкости единой компактной массой, снижая таким путем потери ее в воздухе. Характерно также преимущественное применение суспензий.

Применение новой техники, в частности тушения с помощью воздушных танкеров, вызывает необходимость разработки новой организации и тактики тушения пожаров, которой там уделяют очень много внимания (Reinecker, 1958; Greeley, 1960; Hesterberg, 1960).

В США значительные работы проводятся по исследованию последствий пожаров с целью выяснения прямого и косвенного ущерба и использования горения в хозяйственных целях; регламентирования огневой очистки вырубок; стимулирования возобновления для регулирования состава молодняков и стимулирования их роста, для выжигания старых гарей, захламленных мертвым лесом, для расчистки от леса и кустарников площадей, предназначенных под сельскохозяйственное пользование. Предпринимаются попытки определить наиболее выгодный уровень затрат на охрану лесов и соотношение затрат на различные противопожарные мероприятия. Однако решение этого вопроса, как и у нас, затруднено почти полным отсутствием

сопоставимых данных об эффективности различных мероприятий.

По данным ФАО (Research in Forestry and Forest Products, 1953), в Канаде в пятидесятых годах исследовательские работы по проблеме проводились только в одном научном учреждении. В 1960 г. в работах участвовало 16 самостоятельных в смысле квалификации исследователей (MacLeod, 1960). Там ведутся также работы по физике облаков, одной из задач которых является предупреждение пожаров от молний. В области предупредительных мероприятий интересны поиски способов ускорения разложения порубочных остатков на вырубках и, в частности, путем заражения грибами.

Хотя в Канаде и разработана местная методика сигнализации пожарной опасности погоды для леса, но начаты работы по созданию прибора, который обеспечивал бы непрерывную регистрацию «воздействий погоды на различные слои и объемный вес лесных горючих материалов» (MacLeod, 1960). Как и в США, там проводятся работы по оценке «напряженности» пожароопасных сезонов, которые по замыслу должны создать основу для определения эффективности организационных и других мероприятий по охране лесов от пожаров. Ведется разработка классификации горючих материалов в связи с изучением развития пожаров, при этом намечается дать способ «превращения карт типов покрова в карты типов горючего».

В Канаде для обнаружения пожаров испытаны телевидение, затем инфракрасная радиация и радарные установки. Но по оценке Маклеода (MacLeod, 1960), они не дали положительных результатов, хотя работы продолжаются. В США считают, что в ближайшем будущем технически возможно использование метеорологических спутников земли для обнаружения лесных пожаров (Singer, 1962).

Много внимания уделяется там разработке технических средств тушения лесных пожаров водой, которая у них является основным средством. Отмечается создание мотопомпы весом 16 кг, производительностью 150 л в минуту при напоре 3,5 атм. При расходе же только 30 л мотопомпа развивает напор до 17 атм. Но, по-видимому, интенсивнее всего развивается техника тушения пожаров водой с самолетов.

Огнегасящие химикаты в Канаде известны, однако их не применяют, так как считают целесообразным доставить несколько большее количество бесплатной воды. Как и в США, там разрабатывают вопросы организации и тактики тушения пожаров с использованием вертолетов (Owens, 1957).

В Аргентине и Бразилии, по несколько устаревшим данным ФАО, в небольших масштабах проводились исследовательские работы по определению пожарной опасности погоды и техники тушения пожаров.



Во Франции в двух учреждениях в пятидесятых годах изучали последствия пожаров и разрабатывали способы восстановления лесов на горях. Кроме того, четыре французских научных учреждения, размещенные в бывших африканских колониях, проводили работы о природе кустарниковых пожаров.

В ФРГ ставился вопрос о разработке способа определения пожарной опасности погоды на основе методики, применяемой в США.

В Австрии и Швейцарии в связи с решением задач лесовосстановления на горях велись специфические исследования о влиянии пожаров на фауну почвы (Research in Forestry..., 1953).

Швеция на V Всесоюзном конгрессе лесоводов была представлена докладом об экологическом эффекте от низовых пожаров (Uggla, 1960). Там изучают причины пожаров и их динамику, разрабатывают вопросы прогнозирования пожарной опасности с использованием американских измерительных брусков и дощечек, вопросы экономики обнаружения и тушения пожаров, а также и охраны лесов в целом (Stromdahl, Holmberg, 1957—1962).

В Финляндии проводятся исследования по применению огня в хозяйственных целях (Paavo Ii — Vancuri, 1959) и по определению пожарной опасности погоды (Fransilla, 1959).

Из азиатских капиталистических стран, по данным ФАО, исследовательские работы по проблеме проводились в Индии. Там изучались последствия горения на плантациях длиннохвойной сосны. Исследования, относящиеся к сигнализации пожарной опасности и по вопросам организации борьбы с пожарами, велись на Цейлоне и в Новой Зеландии.

Исследовательские работы по охране лесов от пожаров в Японии систематически проводятся лесной опытной станцией и касаются довольно широкого круга вопросов (Inoue, 1960). Они затрагивают преимущественно вопросы горения лесных горючих материалов и природы пожаров; влияние рельефа, растительности и метеорологических факторов на развитие пожаров. В Японии развивается оригинальное направление оценки пожарной опасности — по эффективной влажности горючих материалов, которую вычисляют на основе текущей влажности, вводя к ней поправки. Японские исследования интересны данными о развитии пожаров в горах и методикой расследования причин пожаров.

В Австралии проводятся обстоятельные исследования о влиянии состояния атмосферы на развитие пожаров, ведутся поиски методики предсказания степени опасности пожарных сезонов и отдельных периодов, разрабатываются вопросы значения местного климата (Proceedings of fire weather conference Melbourne, 1958), а также организации борьбы с лесными пожарами

(Luke, 1960). По сообщению Маклеода (Macleod, 1960), там проведено интересное исследование состава пламени при горении лесных горючих материалов на молекулярном и атомном уровнях, причем для этого использован метод спектроскопии.

В ГДР проводятся исследования по методике определения пожарной опасности погоды, со стремлением к достижению наибольшей простоты ее (Zieger, 1953; Zieger и Lange, 1960), а также по противопожарному устройству лесов. Особенность этих последних работ — лесопожарное районирование территории и классификация участков по их пожароопасности (Zieger, 1954; Hüber, 1959; Klingauf и Liess, 1959). Техника тушения лесных пожаров развивается там по пути отбора из общих средств пожаротушения наиболее подходящих к лесным условиям (Lange, 1958; Wersenger, 1959).

В Чехословакии Пфедфер разработал методику определения пожарной опасности (Pfeffer и др., 1961). Класс опасности он предложил определять по сочетанию относительной влажности воздуха с числом дней после дождя, с экспозицией склона и воздействием ветра.

Таким образом, среди капиталистических стран научно-исследовательская работа по проблеме наиболее интенсивно проводится в США, Канаде и в Японии. Оригинальными и интересными направлениями можно считать: а) разработку специализированных форм пропаганды идей сбережения леса применительно к различным группам населения и методику изучения эффективности пропаганды; б) поиски способов предупреждения пожаров от молний; в) поиски единой методики определения пожарной опасности; г) постановку вопроса об изучении природы пожаров в связи с состоянием атмосферы и особенно синоптического масштаба; д) изучение природы быстро развивающихся (взрывных) пожаров с попытками моделирования условий их возникновения в лабораториях.

Заслуживают также внимания работы в области механизации тушения пожаров, в том числе и на основе использования летательных аппаратов, хотя эти работы ничего принципиально нового пока не содержат. Интересна постановка вопроса об определении экономически рационального размера затрат на охрану лесов и оптимального распределения их по видам мероприятий. Большой научный интерес представляют также исследования последствий пожаров для использования огня в хозяйстве.

Рассматривая перспективы развития техники охраны лесов, Хенди (Hendee, 1962) считает, что основой прогресса должны стать:

повышение культурного уровня новых поколений населения через школу;

очистка леса от горючих материалов в наиболее опасных местах;

создание в лесу зеленых барьеров против огня;

ограничение строительства на пожароопасных площадях;

радарные установки для прослеживания гроз и самолеты для рассеивания грозовых туч;

обнаружение пожаров с помощью искусственных спутников земли, инфракрасного излучения и оборудования наблюдательных вышек телевизионными установками;

ракеты и снаряды с веществами, задерживающими распространение огня.

Большое значение он придает также повышению квалификации работников охраны.

### Горимость лесов в РСФСР

Идея сбережения лесов и охраны их от пожаров нашла яркое выражение в Законе об охране природы, принятом Верховным Советом РСФСР 27 октября 1960 г. В статье 5 закона относительно охраны лесов от пожаров указывается, что «Все лесопользователи обязаны осуществлять комплекс лесохозяйственных мероприятий, направленных на быстрое возобновление лесосек с ценными древесными породами и на охрану леса от пожаров... Все предприятия, учреждения и граждане обязаны строго соблюдать правила пожарной безопасности в лесах». Идеи охраны лесов от пожаров широко пропагандируются органами лесного хозяйства и обществом охраны природы.

За годы Советской власти в СССР организована государственная лесная охрана (Анцышкин, 1950), насчитывающая свыше 100 тыс. человек. В последнем уголовном кодексе РСФСР введена высокая ответственность руководителей предприятий и учреждений, а также отдельных граждан за лесные пожары (Зарубин, 1961).

В СССР в научно-исследовательских учреждениях созданы специальные отделы и лаборатории для разработки мероприятий и способов борьбы с лесными пожарами.

Относительная годовая горимость лесов Федерации за последние 16 лет изменялась от 0,05 до 0,24% и в среднем была на уровне 0,124%. Коэффициент регрессии для этого периода отрицательный и равен 0,004%, что указывает на постепенное, но неуклонное снижение горимости. Относительное число пожаров у нас в РСФСР очень небольшое, но, к сожалению, этот показатель систематически возрастает на 0,008%. Средняя площадь одного пожара у нас высока, что отчасти объясняется недоучетом мелких пожаров, площадью до 0,1 га. Понижение средней площади пожара следует рассматривать как улучшение тушения и учета небольших пожаров.

### Горимость охраняемых лесов РСФСР

Год	Горимость, %	Средняя площадь пожара, га		Год	Горимость %	Средняя площадь пожара, га
1947	0,24	164		1956	0,13	125
1948	0,08	93		1957	0,11	105
1949	0,14	128		1958	0,08	66
1950	0,12	130		1959	0,08	57
1951	0,14	123		1960	0,13	79
1952	0,05	50		1961	0,07	54
1953	0,10	95		1962	0,10	93
1954	0,23	221		Среднее .	0,124	108
1955	0,19	143		Коэффици- енты рег- рессии .	-0,004	-4,28

Пр и м е ч а н и е. Исходные данные для составления табл. любезно предоставлены автору В. А. Лаврентьевым.

Сопоставляя горимость лесов Российской Федерации с горимостью лесов в капиталистических странах Европы и США, можно заключить, что общий уровень горимости наших лесов в относительных показателях невысокий.

Если же еще принять во внимание наши неизмеримо более трудные условия борьбы с лесными пожарами из-за слабой хозяйственной освоенности обширных лесных площадей, этот показатель следует считать крупным достижением социалистического государства.

В этой связи представляют известный интерес статистические данные о горимости лесов в дореволюционной России. По этому вопросу имеются данные, опубликованные В. А. Миндовским (1907). Они относятся к Европейской части России без Кавказа к периоду с 1899 по 1904 г. При вычислении относительных показателей мы приняли, согласно литературным данным, что соответствующая площадь лесного фонда была в 1899 г. 147,6 млн. га, в 1902 г.— 116,9 млн. га. Площадь лесного фонда для остальных сроков получена интерполяцией. По таким исходным данным относительная горимость в этот период в среднем была 0,470%; ежегодно возникало около 5 тыс. пожаров, или по 4,05 пожара на 100 тыс. га лесного фонда при средней площади одного пожара 109 га.

Сейчас, в тех районах, которые в то время были наиболее горимыми (Марийская АССР, Мордовская АССР, Татарская АССР, Брянская, Московская и Свердловская области), относительное число пожаров несколько увеличилось, но средняя

площадь одного пожара и относительная горимость лесов уменьшилась почти в 10 раз (табл. 7).

В Сибири и на Дальнем Востоке до революции, в частности в 1915 г., лесные пожары охватывали многие миллионы гектаров (Шостакович, 1928). В годы Советской власти все эти территории взяты под авиационную охрану. В последнее время авиационная охрана лесов организована также в Камчатской и Магаданской областях. Но неохранными остается еще значительная часть притундровых и горных лесов Сибири, где пожары не учитываются.

Горимость лесов на территории РСФСР и в отдельных ее частях существенно различна и изменяется в широких пределах. В табл. 7 приведены показатели горимости лесов для территорий, различных по степени их хозяйственного освоения. Для территорий, слабо освоенных (Магаданская обл., Якутская АССР и Тюменская обл.), характерно небольшое число пожаров, но средняя площадь их значительна. Это связано с малой плотностью населения и с относительно небольшим числом источников огня на больших пространствах. В этих условиях ликвидация возникающих пожаров крайне затруднена плохими транспортными условиями и недостатком людей.

Для освоенных территорий с высокой плотностью населения (Московская и Брянская области, Марийская, Мордовская и Татарская автономные республики, а также Свердловская обл.) характерно большое относительное число пожаров. Но благодаря более благоприятным условиям их тушения средняя площадь одного пожара невелика, причем и относительная горимость в два и более раз ниже показателей для РСФСР в целом. Однако коэффициенты регрессии указывают на возрастание в этих районах числа пожаров, средней их площади и относительной горимости. По-видимому, здесь снижено внимание к вопросам охраны лесов от пожаров. Исключением является Московская область, где число пожаров заметно снижается, хотя средняя площадь и относительная горимость увеличиваются. Но это объясняется возникновением в 1961 г. одного пожара площадью около 7 тыс. га. В этой группе территорий Свердловская область несколько выделяется тем, что число пожаров в ней возрастает, а средняя площадь пожара и относительная горимость снижаются.

Наиболее высокие показатели горимости лесов характерны для районов интенсивного хозяйственного освоения, таких как Красноярский край и Иркутская область. В них на лесной территории, еще недостаточно охраняемой, широко ведутся изыскательские и геологоразведочные работы, идет дорожное и промышленное строительство, быстро развиваются лесозаготовки. Хозяйственное освоение территории здесь опережает развитие охраны лесов от пожаров. Поэтому на таких территориях

Таблица 7

## Горимость лесов по некоторым краям и областям РСФСР с 1955 по 1962 г.

Территория	Охраняемая площадь, млн. га	Плотность населения		Число пожаров на 100 тыс. га		Средняя площадь пожара, га		Горимость леса, %	
		всего	сельского	среднее за 8 лет	коэфф. регрессии	среднее за 8 лет	коэфф. регрессии	среднее за 8 лет	коэфф. регрессии
Якутская АССР . . . . .	256,7	0,15	0,08	1,00	-0,00	971,0	-329,0	0,236	-0,047
Магаданская обл. . . . .	71,4	0,22	0,04	0,06	-0,00	312,0	-71,0	0,045	-0,003
Тюменская обл. . . . .	99,0	0,80	0,35	0,59	-0,02	70,0	-26,5	0,054	-0,025
Красноярский край . . . . .	39,2	1,09	0,55	2,29	0,16	9,72	-10,8	0,234	0,014
Иркутская обл. . . . .	71,9	2,53	0,96	1,85	0,15	144,0	-19,0	0,297	0,056
Свердловская обл. . . . .	13,6	21,00	5,02	8,54	-0,53	18,2	-0,9	0,183	-0,030
Мурманская АССР . . . . .	1,3	28,00	20,01	9,45	0,01	3,0	0,2	0,033	0,003
Мордовская АССР . . . . .	0,6	38,30	31,30	1,75	0,13	4,3	0,6	0,012	0,002
Татарская АССР . . . . .	1,1	42,40	24,60	1,56	0,08	10,9	-4,9	0,012	-0,005
Брянская обл. . . . .	0,8	44,60	29,20	11,71	0,96	2,7	-0,3	0,046	-0,011
Московская обл. . . . .	1,6	225,70	49,10	21,01	-0,30	1,7	0,3	0,070	0,016

Таблица 8

## Изменение горимости лесов в лесхозах Иркутской области по мере удаления от Иркутска на север (средние показатели за период с 1954 по 1962 г.)

Название лесхоза	Площадь лесхоза, тыс. га	Число пожаров на 100 тыс. га	Средняя площадь пожара, га	Горимость, %	Плотность населения	
					всего	сельского
Иркутский . . . . .	468,8	16,4	48,0	0,272	34,0	4,5
Усть-Ордынский . . . . .	709,9	12,3	134,6	0,902	3,7	3,4
Качугский . . . . .	2971,8	2,3	265,0	0,211	1,3	1,0
Жигаловский . . . . .	2232,8	2,4	441,7	0,339	0,6	0,6
Усть-Кутский . . . . .	3214,5	2,8	285,0	0,590	0,8	0,2
Киренский . . . . .	4624,4	1,0	780,4	0,609	0,6	0,2
Катангский . . . . .	13883,5	0,4	880,8	0,184	0,04	0,04

Примечание. Таблица составлена по материалам «Схемы противопожарного устройства лесов Иркутской области» и данным Иркутской базы авиационной охраны лесов.

быстро растет число пожаров и относительная горимость лесов, хотя средняя площадь пожара снижается. Это последнее есть результат улучшения борьбы с возникающими пожарами.

Таким образом, на территории РСФСР находит некоторое отражение общий процесс увеличения числа пожаров по мере роста населения и хозяйственного освоения лесных территорий. В табл. 8 приведены показатели горимости лесов тех лесхозов Иркутской области, которые встречаются при продвижении от Иркутска прямо на север. При этом с уменьшением плотности населения число пожаров закономерно уменьшается, а средняя площадь пожара — увеличивается. Связь числа пожаров с плотностью населения, по данным табл. 8, выражается коэффициентом корреляции 0,83. Коэффициент корреляции для связи средней площади пожара с плотностью населения равен — 0,55, а для относительной горимости соответственно — 0,22. Лишь наличие крупных населенных пунктов (Усть-Кут, Киренск) несколько отклоняет величину показателей горимости от их закономерного изменения.

Таблица 9

Изменение горимости лесов в лесхозах Свердловской области по мере удаления от Свердловска на север

Название лесхоза	Рассматриваемый период (годы)	Площадь лесхоза, тыс. га	Число пожаров на 100 тыс. га	Средняя площадь пожара, га	Горимость, %	Плотность населения	
						всего	сельского
Буткинский . .	1958—1959	67	25,5	6,4	0,163	33	33
Невьянский . .	1953—1959	281	23,6	7,7	0,182	81	15
Н.-Тагильский .	1950—1959	121	12,5	11,9	0,149	285	31
Н.-Салдинский	1948—1959	169	13,5	16,4	0,221	37	2,6
Верхотурский .	1948—1959	226	16,1	27,5	0,443	99	31
Сосьвинский . .	1953—1959	508	7,8	31,8	0,248	18	12
Ново-Лялинский	1955—1959	354	6,4	31,3	0,201	11	3,2
Карпинский . .	1952—1959	287	13,2	40,7	0,537	64	0,4
С.-Уральский .	1953—1959	431	8,8	48,0	0,422	12	4,0
Ивдельский . .	1952—1959	2058	4,1	58,6	0,240	1,7	0,5

Примечание. Для составления таблицы использованы материалы, собранные Н. И. Ивановым.

Аналогичная картина наблюдается и по данным, приведенным в табл. 9, для Свердловской области. Влияние городов с большим числом населения в Свердловской области уже более существенно нарушает закономерное изменение числа и размера пожаров. Поэтому показатели горимости по Свердловской

области более тесно связаны с плотностью сельского населения. Корреляция показателей горимости с плотностью сельского населения здесь выражается такими коэффициентами: для числа пожаров 0,56; для средней площади пожара — 0,66 и для относительной горимости — 0,24.

При продвижении с юга на север, кроме плотности населения и хозяйственного освоения территории, изменяются климат и растительность. Поэтому изменения показателей горимости — результат совокупного влияния ряда факторов. Однако решающее значение имеет уровень посещаемости леса населением.

Таблица 10

Изменение горимости лесов в лесхозах Карельского перешейка (Ленинградская область) в связи с удалением от Ленинграда по наблюдениям за 5 лет

Название лесхоза	Расстояние от Ленинграда, км	Среднее число пожаров в год, на 100 тыс. га	Средняя площадь пожара, га
Лесхозы зеленой зоны	0—60	52,0	1,65
Сосновский . . . . .	60—100	50,1	3,27
Приозерский . . . . .	100—150	26,2	2,70
Лесогорский . . . . .	150—170	15,0	2,31

Примечание. Таблица составлена по данным «Генерального плана развития лесного хозяйства Ленинградского экономического и административного района».

В табл. 10 приведены показатели горимости лесов в лесхозах Карельского перешейка Ленинградской области. Климат и растительность перешейка достаточно идентичны, но посещаемость лесов существенно уменьшается в связи с расстоянием от Ленинграда.

В числах таблицы нашло отражение даже то обстоятельство, что электрифицированная часть железной дороги Ленинград — Приозерск заканчивалась в рассматриваемые годы на территории Сосновского лесхоза, поэтому число пожаров в Приозерском лесхозе почти вдвое меньше, чем в Сосновском.

Помимо отмеченной закономерности, в табл. 10 привлекает внимание очень высокий общий уровень загораемости лесов перешейка в связи с близостью к большому городу. В то же время средняя площадь пожара здесь небольшая, благодаря расчлененности территории, густой сети дорог и хорошей организации тушения пожаров.

Отмеченная закономерность в изменении горимости лесов в зависимости от плотности населения характерна для тех слу-



чаев, когда охрана лесов от пожаров развивается недостаточно планомерно, преимущественно по мере возрастания горимости. *Для преодоления этой вредной для нашего народного хозяйства тенденции необходимо, чтобы развитие охраны лесов от пожаров несколько опережало хозяйственное освоение лесных территорий.*

Важная особенность горимости лесов в РСФСР — большая изменчивость ее во времени. Если рассматривать данные о горимости по отдельным республикам, краям и областям (табл. 11), легко заметить периодическое повышение горимости. За последние 8 лет в Якутской АССР резко повышенная горимость наблюдалась в 1955 и 1956 гг.; в Магаданской области — в 1957 г.; в Иркутской — в 1958 и 1962 гг., а в Красноярском крае дополнительно еще и в 1957 г. Эти изменения вызываются особенностями хода погоды на рассматриваемой территории в пожароопасные сезоны.

Резкое периодическое усиление горимости в отдельных частях страны необходимо учитывать при организации борьбы с пожарами. В каждой республике, крае или области невозможно и нецелесообразно содержать силы и средства пожаротушения из расчета максимальной горимости, возможной лишь в редкие годы.

Учитывая периодические изменения горимости лесов, правильнее будет создать соответствующие подвижные государственные резервы сил и средств пожаротушения в виде подразделений парашютно-пожарной службы и шире использовать возможности маневрирования авиационными средствами борьбы с пожарами.

Не менее важная особенность горимости лесов РСФСР — также возникновение крупных пожаров. Большая часть площади, поврежденной огнем, обычно приходится на небольшое число крупных пожаров. Для иллюстрации этого положения в табл. 12 приведены данные о распределении числа и площади пожаров в зависимости от их размеров в Красноярском крае и Иркутской области. Из данных табл. 12 следует, что в Красноярском крае крупные пожары (200,1 га и более), составляющие 2—6% от общего числа, дают от 60 до 80% всей поврежденной огнем площади. Эта особенность горимости лесов ярко проявляется в наиболее пожароопасные сезоны. Так, в 1962 г. в Иркутской обл. площадь 10 пожаров составила 43,2% всей площади, поврежденной огнем. Отмеченная особенность характерна как для отдельных районов, так и для РСФСР в целом. *Поэтому, чтобы существенно снизить горимость наших лесов в ближайшие годы, необходимо уделить особое внимание ликвидации пожаров в удаленных районах, где они охватывают большие площади.*

Статистика причин лесных пожаров в СССР ведется по укрупненным показателям, так как выяснение причин пожаров затруднено специфическими условиями лесной обстановки. По

Изменчивость уровня горимости лесов по некоторым республикам, краям и областям РСФСР  
(Первая строка—число пожаров на 100 тыс. га, вторая—горимость лесов, %)

Название территории	Годы							
	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
Якутская АССР . . . . .	0,16 0,346	0,14 0,356	0,10 0,145	0,07 0,003	0,16 0,068	0,16 0,141	0,08 0,006	0,13 0,021
Магаданская область . . . . .	0,05 0,006	0,07 0,009	0,09 0,164	0,06 0,066	0,07 0,045	0,05 0,004	0,05 0,076	0,04 0,000
Иркутская область . . . . .	0,86 0,082	1,13 0,049	1,89 0,357	3,14 0,506	1,76 0,297	1,77 0,141	1,89 0,092	2,34 0,852
Красноярский край . . . . .	1,49 0,074	1,89 0,185	2,26 0,639	3,45 0,438	1,71 0,104	1,72 0,092	2,17 0,073	3,66 0,267
Тюменская область . . . . .	0,95 0,318	0,30 0,014	0,48 0,017	0,85 0,028	0,62 0,013	0,46 0,006	0,50 0,025	0,57 0,014
Свердловская область . . . . .	8,44 0,228	6,12 0,106	10,12 0,302	17,41 0,542	9,05 0,112	7,41 0,053	4,06 0,017	5,71 0,102
Брянская область . . . . .	31,35 0,190	5,72 0,014	1,02 0,001	3,68 0,007	8,38 0,029	31,98 0,112	11,30 0,017	0,25 0,001
Московская область . . . . .	34,3 0,310	13,5 0,012	13,9 0,006	11,2 0,003	12,8 0,002	47,4 0,470	32,3 0,030	2,67 0,001
Татарская АССР . . . . .	0,98 0,062	1,42 0,003	1,60 0,010	0,80 0,006	1,68 0,003	3,82 0,010	1,06 0,003	1,15 0,002
Мордовская АССР . . . . .	1,38 0,007	1,90 0,004	0,86 0,001	0,00 0,00	2,76 0,006	3,97 0,072	1,90 0,005	1,21 0,005
Марийская АССР . . . . .	7,86 0,023	11,25 0,030	9,18 0,29	4,78 0,004	9,26 0,014	20,40 0,113	7,86 0,036	4,93 0,015

Таблица 12

Распределение числа и площади пожаров в зависимости от их размера  
(первая строка — число пожаров, вторая их площадь, % от итога за год)

Годы	Размер пожара, га			
	до 200	от 200 до 1000	От 1001 до 10 000	Более 10 000
Красноярский край				
1958	93,5	4,4	2,1	—
	15,9	17,0	67,1	—
1959	94,6	4,5	0,9	—
	29,8	32,6	37,6	—
1960	97,5	1,7	0,8	—
	34,4	12,0	53,6	—
1961	97,6	2,3	0,1	—
	40,7	50,0	9,3	—
Иркутская область				
1961	97,1	1,7	1,2	—
	42,2	13,7	44,1	—
1962	92,7	2,7	3,8	0,8
	13,5	3,4	39,9	43,2

данным С. П. Анцышкина (1952, 1957), причины 35% пожаров остаются невыясненными. От неосторожного обращения с огнем и нарушения правил пожарной безопасности в лесу в начале 50-х годов возникало 48% и в конце — 37% пожаров. По отчету Центральной базы авиационной охраны лесов и авиаобслуживания лесного хозяйства, в 1962 г. пожаров с выясненными причинами при лесозаготовках возникло 47%, от сельскохозяйственных палов — 28, по вине работников экспедиций — 15 и от искр паровозов — 10%. В начале рассматриваемого периода около 20% пожаров у нас возникало от искр паровозов. Благодаря внедрению тепловозной тяги и электрификации железных дорог широкой колеи доля этих пожаров быстро снижается. Но вдоль узкоколейных лесовозных железных дорог пожаров еще очень много. Частые повторные пожары вдоль железных дорог уничтожают всю растительность и органическую часть почвы. Поэтому прилегающие к таким дорогам площади становятся непродуцирующими.

Переход лесозаготовительной промышленности к преимущественной вывозке леса на автомашинах будет способствовать снижению числа пожаров.

В Сибири и на Дальнем Востоке, на которые приходится большая часть площади ежегодно повреждаемой огнем, весной пожары возникают из-за огневой очистки вырубок, полей, сенокосов, трасс для линий электропередач и полос отчуждения вдоль железных дорог. В последние годы огневая очистка вырубок у нас ограничивается; во многих типах леса порубочные остатки оставляют в кучах или даже равномерно разбрасывают. Эти способы снижают число возникающих пожаров, хотя чрезвычайно осложняют тушение возникающих. Лиман установил (Davis, 1959), что в США средняя площадь пожаров на неочищенных вырубках в 7 раз больше средней площади пожаров на вырубках очищенных.

В сельском хозяйстве массовое внедрение зяби и использование соломы, которую до сих пор сжигали на полях, создают благоприятные предпосылки к сокращению числа весенних пожаров от сельскохозяйственных палов.

Распространенной причиной пожаров в Сибири в последние годы стало неосторожное обращение с огнем работников экспедиций (геологов, геодезистов, лесоустроителей, изыскателей путей транспорта). Если местные жители бывают виновниками пожаров вблизи населенных пунктов и дорог, то от работников экспедиций пожары возникают большей частью в отдаленных и малодоступных районах. Ликвидация этих пожаров затруднена; они охватывают большие площади и повышают общий уровень горимости наших лесов.

В результате рассмотрения показателей горимости лесов в РСФСР можно отметить следующее: относительное число пожаров на территории РСФСР значительно ниже, чем в большинстве капиталистических стран Западной Европы и Северной Америки. Пониженное число пожаров в РСФСР объясняется небольшой плотностью населения в лесных районах, с увеличением которой число пожаров возрастает. Среди причин пожаров значительная доля приходится на производственно-технические, что указывает на сравнительно бережное отношение к лесу основной массы населения. Новые организационно-технические мероприятия в сельском хозяйстве, в лесной промышленности и на железнодорожном транспорте создают предпосылки к дальнейшему снижению числа пожаров.

Средняя площадь пожаров в РСФСР хотя и ниже, чем в некоторых капиталистических странах (Австралия, Канада), но все же очень большая, что отчасти объясняется недоучетом мелких пожаров, а в основном — недостатками в организации охраны лесов.

Уровень относительной горимости лесов в РСФСР значительно ниже, чем во многих капиталистических странах. Он определяется ежегодно возникающими в разных областях страны вспышками пожаров, связанными с местными засухами. При

вспышках горимость лесов зависит от небольшого числа очень крупных пожаров в северных районах Сибири и Дальнего Востока.

Очевидно, что в ближайшее время усилия работников охраны лесов целесообразно сосредоточить на организации такой борьбы с пожарами, при которой не возникало бы крупных пожаров.

Интенсивное хозяйственное освоение новых лесных районов сопровождается увеличением числа пожаров и площади леса, поврежденного огнем. Это вызывается отставанием в развитии охраны лесов от хозяйственного освоения лесных территорий. Организация соответствующей охраны лесов в новых районах должна предшествовать их хозяйственному освоению.

### **Научно-техническая разработка проблемы в СССР**

В СССР работы по проблеме борьбы с пожарами ведут 12 научно-исследовательских институтов, два высших учебных заведения и несколько лесных опытных станций. Кроме того, большая творческая и рационализаторская работа проводится работниками органов охраны лесов и, в частности, лесной авиации.

За последнее десятилетие большое внимание у нас уделяется разработке вопросов предупреждения пожаров и противопожарного устройства лесов. Научные работники помогают создавать брошюры, плакаты, тексты выступлений по радио и кинофильмы об охране лесов от пожаров. Они участвуют в разработке законодательных актов и административных мероприятий по охране лесов.

В СССР проводятся работы по изучению возникновения лесных пожаров от молний и по их предупреждению (Успенский, 1958). Однако этот вопрос у нас имеет лишь местное значение и разрабатывается неинтенсивно.

В пятидесятых годах в СССР получила развитие идея постепенного планового противопожарного устройства отдельных лесных хозяйств, развитая в свое время В. Г. Нестеровым (1941); она выросла в работы по планированию противопожарного устройства, в масштабах областей, краев и республик (Курбатский, 1951; Стародумов, 1960). В этой связи у нас разрабатывается методика лесопожарного районирования лесной территории. Ее задача — создание основы для определения интенсивности охраны лесов на различных территориях и дифференциации противопожарных мероприятий (Стародумов, 1959а). Вместе с тем, разрабатывается и методика учета особенностей лесной территории при решении вопросов противопожарного устройства и использования авиации в охране лесов (Мокеев, 1958а и 1962; Стародумов, 1958).

В постановке и разработке вопросов планового противопожарного устройства лесов мы значительно опередили зарубежных специалистов. Однако у нас до сих пор остается неисследованной эффективность противопожарных мероприятий как отдельно взятых, так и в системах. Более того, не разработана еще и методика таких исследований, хотя теперь стало очевидным, что она очень нужна. Эти исследования, как следует из предыдущего, должны дать методику расчета целесообразного уровня затрат на охрану лесов в различных условиях, уровня затрат на лесопожарную профилактику и определения правильного соотношения их с затратами на тушение пожаров.

Исследования по экономике охраны лесов от пожаров в настоящее время затруднены у нас некоторой условностью корневых такс на лес и слишком заниженным их уровнем для многих районов Сибири и Дальнего Востока, интенсивно экспортирующих древесину. Не разработана у нас и методика хотя бы приближенного определения косвенного ущерба от пожаров вследствие нарушения режима рек, от водной и ветровой эрозии, от ухудшения климата и от снижения продуктивности лесов. Такой методики нет, как отмечалось, и у зарубежных лесоводов. При таких условиях вычисление ущерба от лесного пожара во многих случаях приводит к тому, что основной его частью будто бы является расход на тушение, который во много раз превосходит все остальные учитываемые в настоящее время потери. Очевидно, что при хорошо организованной охране лесов убытки от пожаров должны быть очень малы, как и расходы непосредственно на их тушение. Основными же расходами должны быть затраты на профилактику, на наблюдение за лесами и содержание сил и средств пожаротушения в боевой готовности.

За последнее десятилетие у нас получили дальнейшую разработку многие вопросы техники противопожарного устройства лесов. Противопожарные разрывы с середины пятидесятых годов рекомендуется сочетать с дорогами (Наставление по охране лесов от пожаров, 1956). Проведены работы по вопросу о целевом назначении, ширине и эффективности минерализованных полос (Стародумов, 1959б) и о технике их прокладки (Крохалев, 1957). Для создания минерализованных полос у нас сконструированы двухотвальные навесные плуги типа ПЛ-70 к трактору КТ-12 (Тихонравов и Соловьев, 1954) и ДТ-54А (Свиридов и Полукорнев, 1960), а также плуг-корчеватель ПЛП-135 (Киреев и Попцов, 1957).

Минерализованные полосы не долговечны — их приходится подновлять почти ежегодно. Содержание минерализованных полос, протяженность которых теперь достигла сотен тысяч километров, из-за большого объема работ стало обременительным. В связи с этим в послевоенный период были начаты опыты по созданию полос путем посева трав и посадки кустарников, кото-

рые продолжаютя во ВНИИЛМ и до сих пор (Чаркина, 1962). Трудность решения этого вопроса состоит в подборе многолетних растений, которые не оставляли бы на весну соломы, весной достаточно быстро развивали пышную зелень и, вместе с тем, выдерживали бы конкуренцию с дикой лесной растительностью, хорошо приспособленной к местным условиям. В США к решению этой задачи приступили позднее, но они при этом переносят растения за пределы ареалов их естественного распространения. Такой подход к решению задачи, по-видимому, быстрее даст положительные результаты.

У нас, как и за рубежом, были попытки решения задачи подновления полос на основе использования химикатов (Симский, 1950). Однако опад горючих материалов с деревьев на минерализованные полосы вынуждает производить их подновление и в случае применения гербицидов.

В ЭССР и в Свердловской области минерализованные полосы иногда заменяют дорогами. Это направление наиболее прогрессивно и заслуживает широкого распространения прежде всего в лесах зеленых зон.

При разработке вопросов противопожарного устройства очень полезные конструкторские работы были выполнены у нас по созданию пожарных наблюдательных пунктов в виде мачты с лестницей и противовесом для подъема (Мокеев, 1959) и мачты с подъемником — ПНМ-2 (Сперанский, 19616).

Для наблюдения за лесами и обнаружения пожаров у нас используют вышки и авиацию, но преимущества той и другой системы не всегда очевидны (Мокеев, 19586 и 1959).

Обстоятельные исследования проведены у нас по улучшению методики определения и прогнозирования горимости леса. Несколько работ метеорологов (Кашин, 1951; Гриценко и Гаврилова, 1952; Федоров, 1958) посвящены улучшению метода и единой шкалы горимости лесов в СССР, предложенных В. Г. Нестеровым (1949).

Б. Л. Дандре (1953 и 1956) обратил внимание на то, что большие и продолжительные осадки не только ликвидируют опасность возникновения пожаров в лесу, но в разной степени замедляют ее восстановление в последующий бездождный период, что происходит как бы накопление «отрицательной горимости».

Методика определения горимости леса получила дальнейшее развитие на основе идеи учета местных особенностей лесной территории и фенологических фаз развития лесной растительности (Киселев, 1951; Курбатский, 1954 и 1957а; Скворецкий, 1955; Егоров, 1956; Чаркина, 1958). В работах В. А. Жданко (1960а и 1960б) и М. В. Гриценко (1962) осуществлены интересные попытки улучшения оценки горимости леса на основе суммирования дефицита влажности воздуха в утренние часы по

единой для СССР шкале, но с более дифференцированным учетом влияния осадков по специальной шкале, точно так же единой для всей территории страны. Эти попытки дали отрицательные результаты и косвенно подтвердили правильность идеи местных шкал (Курбатский, 1963а).

Недавно у нас разработано предложение перейти в СССР к ступенчатой системе местных шкал пожарной опасности, составленных по методике, обеспечивающей единство и сопоставимость оценок (Курбатский, 1963в). Система таких шкал создана для Красноярского края (Валендик, 1963), Иркутской области (Сныткин, 1963), Забайкалья (Фурьев, 1963) и совокупности этих территорий (Курбатский, 1963б).

Кроме изучения связей горимости лесов с ходом погоды применительно к нуждам текущей сигнализации пожарной опасности, в СССР разрабатываются вопросы связи горимости лесов с климатической поясностью (Мелехов, 1946; Мокеев, 1958а и 1961), с периодичностью хода погоды в течение пожароопасного сезона (Курбатский, 1957а) и в течение суток (Курбатский, 1960). Публикации по этим вопросам в нашей периодической печати, по-видимому, дали основания Рейфснидеру подчеркнуть актуальность затрагиваемых в них вопросов и необходимость разработки их в США (Reifsnider, 1960).

Недостаточно разрабатываются у нас в последнее время вопросы многолетней периодичности вспышек лесных пожаров для прогнозов пожарной напряженности сезонов, что крайне необходимо.

В тридцатых и сороковых годах в СССР проводились значительные лесоводственные исследования по природе пожаров (А. А. Молчанов, 1934, 1940а и 1940б; Мелехов, 1939, 1944, 1947; Нестеров, 1939а, 1939б, 1945, 1949; Соколовский, 1939, и др.). Корчагин (1954а) осуществил работу по систематизации и частичному обобщению накопленных данных. В последующий период выполнены важные исследования по физике горения при лесных пожарах (Амосов, 1958), которые несколько приблизили нас к составлению энергетического баланса на кромке пожара. Эти работы только начаты и мы, к сожалению, еще не имеем полной картины выделения и распределения энергии при пожаре.

Необходимо отметить также экспериментальное изучение интенсивности и распространения по площади низовых пожаров, интересное в методическом отношении (Вонский, 1957). В этих исследованиях впервые получены данные о количестве тепла, выделяющегося при некоторых низовых пожарах различной интенсивности. Изучение интенсивности пожаров в зависимости от ряда лесоводственных факторов и погоды дало возможность уточнить классификацию их и создать методическую основу для составления прогнозов развития пожаров (Курбатский, 1962).



Изучение особенностей верховых пожаров, как дальнейшей стадии развития низовых (Курбатский, 1955), создало важные предпосылки к улучшению техники применения встречного огня. Тепловые расчеты определили физические условия распространения низового огня на полог и продвижения его по пологую в сосновых древостоях (В. П. Молчанов, 1956, 1957а, 1957б).

В перечне исследований последнего времени, относящихся к природе пожаров, следует упомянуть специальные работы о возникновении и развитии почвенных торфяных пожаров (Курбатский, 1956б; Курбатский, Жданко и Красавина, 1957); работы по изучению природы пожаров на Дальнем Востоке (Колесников, 1938; Стародумов, 1957а и 1957б); наблюдения специфики пожаров в условиях многолетней мерзлоты (Корнильев, 1959; Уткин и Исаев, 1962) и в лиственничниках Амурской области (Исаев, 1961); наблюдения за скоростью ветра в сосновых древостоях на разной высоте (В. П. Молчанов, 1960).

Все эти экспериментальные и теоретические исследования природы пожаров значительно продвинули нас в понимании генезиса различных видов пожаров и разработке генетической классификации их (Курбатский, 1962). Мы можем отметить некоторый приоритет отечественной лесной науки в области изучения развития лесных пожаров под влиянием лесоводственных и метеорологических факторов. Вместе с тем необходимо признать существенные пробелы у нас в изучении влияния профиля ветра и атмосферных циркуляций, возникающих в зоне крупных пожаров, а также атмосферных явлений синоптического масштаба. Некоторые работы, выполненные нашими метеорологами в этой области, лишь положили начало необходимым исследованиям. У нас, как и в США, известны случаи резкого усиления пожаров и быстрого распространения их по лесной территории. Поэтому выявление критических размеров пожаров и критических состояний атмосферы крайне необходимо для предвидения таких чрезвычайно опасных ситуаций и для предупреждения крупных пожаров, которые в настоящее время, как указывалось, в основном и определяют уровень горимости наших лесов.

В целях поисков эффективных огнегасящих веществ была разработана методика их испытаний в лабораторных и полевых условиях. Для лабораторных испытаний огнегасящих веществ в стандартных условиях в ЦНИИПО создана специальная установка, основной частью которой является костер на весах. В ЛенНИИЛХ эта установка позднее была несколько упрощена и увеличена по размерам. В последнее время в Институте леса и древесины она усовершенствована, причем процесс горения костра автоматически фиксируется самописцем и периодически фотографируется.

Тщательные опыты определения эффективности огнегасящих веществ в сопоставлении с теоретическими расчетами подтвердили тепловое (охлаждающее) действие наиболее часто применяемых водных растворов большинства известных огнегасящих химикатов и их сравнительно небольшую эффективность. Одновременно с этим исследования тепловыделения пламени и углей наголкунули на мысль о тушении их различными средствами. На этой основе были предложены смеси огнегасящих химических веществ ЭС-1 и ЭС-2 (Амосов и Красавина, 1958). В них четыреххлористый углерод предназначен для тушения пламени, а водный раствор хлористого магния или хлористого кальция — для тушения углей. По нашим расчетам смесь ЭС-1 стоит менее 7 коп. за литр.

Обстоятельные исследования проведены у нас по испытанию поверхностноактивных веществ — смачивателей. Для тушения пожаров предложены очень дешевый смачиватель в виде жидкости — керосиновый контакт и в виде порошка — НП-1 (Симский, 1959; Красавина и Лобербаум, 1961). Начаты интересные исследования хемосорбционной способности горящих углей с целью изыскания огнетушащих газов (Красавина, 1959). Проведена также теоретическая разработка вопроса, определяющая основные направления поисков огнегасящих веществ на ближайшие годы (Амосов, 1963). Анализ результатов опытных работ подтверждает, что возможности изыскания огнегасящих веществ далеко еще не исчерпаны. Вместе с тем, подтверждается и то, издавна известное положение, что гасить следует угли, а пламя при этом погаснет само.

Усилия наших научных работников и механизаторов в последние 10 лет были направлены на создание машин и аппаратов для локализации пожаров грунтом, водой, химическими веществами и встречным огнем. Много энергии приложено к тому, чтобы использовать для этой цели авиацию.

Мы уже отмечали высокое качество отечественных навесных плугов, которые успешно применяются не только для создания защитных минерализованных полос, но и для локализации лесных пожаров. Существенным достижением наших конструкторов следует считать создание прицепного канавокопателя плужного типа (Албяков, 1953) и плужного канавокопателя навесного — ПКНЛ-500 (Щекотин, 1961), которые с большим успехом могут быть использованы также для локализации пожаров. Заслуживающая внимания идея заложена в опытной конструкции шнекового покровосдирателя (Корнильев, 1960) для прокладки опорных полос при пуске встречного огня.

В начале пятидесятых годов закончена разработка взрывного метода локализации пожаров (Мокеев, 1953). В последнее время создан мотобур МБ-1 для подготовки скважин подзаряды (Замысловский и Сперанский, 1959) и разработана техника

электровзрывания применительно к условиям тушения лесных пожаров (Коровин, 1962). Важным дополнением этих работ является создание зажигательного аппарата ЗА-1 (Замысловский, 1957).

Для широкого использования воды при тушении лесных пожаров у нас были проведены испытания стандартного пожарного оборудования, из которого отобрано то, что может быть применено в лесу (Курбатский и Сперанский, 1955). К числу рекомендованных относятся главным образом легкие с повышенной проходимостью пожарные автоцистерны ряда марок, переносные мотопомпы, стандартные рукава, стволы и другое оборудование (Курбатский, 1958). Как и за рубежом, создано съемное оборудование для грузовых автомашин — ПЛАЦ, с помощью которого они превращаются в достаточно мощные пожарные автоцистерны с насосами (Сперанский, 1956). Такое оборудование значительно увеличивает эффективность использования для борьбы с лесными пожарами автотранспорта.

Для малонаселенных и бездорожных районов сконструирована малогабаритная лесная переносная мотопомпа — МЛАЗ (Сперанский, 1961а). Эта машина, надо полагать, может быть удобным вооружением пожарных команд, перевозимых на вертолетах.

Тушение водой лесных пожаров в техническом и пожарнотактическом отношении имеет много особенностей по сравнению с тушением водой в населенных пунктах. Поэтому в СССР были проведены специальные опыты по разработке техники и тактики тушения лесных пожаров водой. На основе пропуска небольшого количества воды по рукавам крупного сечения при этом достигнута подача воды одним насосом до 1,5 км и более (Курбатский, 1958). Работы по тушению водой в основном механизированы. Тяжелой и трудоемкой операцией остается прокладка рукавных линий. В последнее время появились возможности изготовлять легкие рукава из различных новых, и в частности полимерных, материалов. Применяют также более легкие рукава малого диаметра в сочетании с высоконапорными насосами. Эти возможности улучшения техники тушения водой у нас еще не использованы.

В послевоенный период много внимания уделялось разработке техники применения огнегасящих химикатов; созданию и оснащению лесных пожарно-химических станций, хранению химикатов, подготовке и транспортировке растворов, тушению пожаров. По этому вопросу опубликован ряд работ (Симский, 1952; Курбатский и Румянцев, 1954; Курбатский и Красавина, 1954; Симский, 1956). Для тушения жидкими химикатами разработано несколько вариантов ранцевых опрыскивателей, которые по своим конструктивным и пожарнотактическим данным превосходят соответствующие зарубежные образцы. Мы

имеем легкие опрыскиватели РЛО из прорезиненной ткани с ручными насосами; опрыскиватели ОРП-А пневматического действия с зарядкой мотопомпой или пожарной автоцистерной; опрыскиватели РООП-4, сочетающие оба варианта действия (Сперанский, 1961в); опрыскиватели, действующие с помощью запаса сжатого воздуха (Симский, 1961). Значительно рационализировано применение в лесу огнетушителей (Симский, 1963). Однако недостаток водоисточников и дорог существенно ограничивает сферу применения этой техники.

Механизация тушения лесных пожаров в целом затруднена не только недостатком дорог, но и подвижностью кромки лесных пожаров, на которую необходимо воздействовать с помощью механизмов. Поэтому уже около 30 лет осуществляются разнообразные в техническом отношении попытки использовать для этого летательные аппараты. У нас проводились опыты свободного выливания воды и растворов огнегасящих веществ с самолетов. Но жидкость при выливе дробится в мелкие капли, большей частью рассеивается в воздухе и задерживается на пологие древостоя. Лучшие результаты дает выливание под давлением назад по ходу самолета, со скоростью, равной скорости полета самолета. Но и в этом случае, даже при полетах на высоте 10—30 м над пологом, результаты выливания оказались неприемлемыми для практиков.

Чтобы избежать бесполезных потерь жидкости, проведены большие опытные и конструкторские работы по залповому и серийному сбрасыванию стеклянных ампул с жидкостью. Осуществлены попытки применения серийного сбрасывания мелких фугасных бомб. И эти попытки также не дали желательных результатов. Настойчиво осуществлялись опыты по сбрасыванию жидкости к пожару в баллонах и в таре различных конструкций, с парашютами и без них, но и они оказались безуспешными. Для эффективного воздействия на пожар с самолета необходимо пролетать над ним возможно ниже и медленнее. С точки зрения безопасности полета над задымленной территорией это недопустимо. Поэтому задача до сих пор не решена (Курбатский, 1957б и 1962).

Как уже указывалось, в США и Канаде довольно широко практикуют свободное выливание на пожар с самолетов воды и суспензий боратов. В оценке результатов выливаний подчеркивается, что оно лишь задерживает или замедляет на некоторое время распространение пожара и тем оказывает помощь наземным рабочим-тушителям. При небольших расстояниях от места забора воды до пожара, как, например, в озерных штатах США, в сочетании с использованием гидросамолетов, это мероприятие может быть и экономически эффективным.

В настоящее время более перспективным является использование для этих целей вертолетов. Первые опыты по примене-

нию пожарных струй с вертолетов дали обнадеживающие результаты (Курбатский, 1957б; В. П. Молчанов, 1962). Следует считать, что широкое и разностороннее применение вертолетов значительно облегчит и повысит результативность борьбы с лесными пожарами (Курбатский, 1956а). Пока же авиация у нас используется в основном для патрулирования лесов, высадки парашютистов и доставки на вертолетах пожарных-десантников. Техника этих операций хорошо разработана и авиационные пожарные гасят до 80% пожаров в закрепленных за ними районах. Разработка снаряжения для выполнения парашютистами прыжков на лес и высадки десанта с вертолета также непосредственно на лес еще более расширяет сферу применения авиационной охраны лесов. В районах Севера, Сибири и Дальнего Востока авиационная охрана лесов в настоящее время — основной вид охраны как по затратам средств, так и по результатам.

Применительно к новой технике в борьбе с лесными пожарами в СССР получили разработку общие вопросы организации охраны лесов от пожаров (Мокеев и др., 1950; Анцышкин, 1950 и 1952; Червонный, 1961), а также и тактики тушения: вопросы разведки и прогноза развития пожаров, планирования операций, выбора средств и способов тушения применительно к конкретным условиям (Курбатский, 1962).

Вопросы последствий лесных пожаров и ликвидации горельников разрабатываются в СССР менее интенсивно, чем техника и тактика тушения. После обстоятельной работы И. С. Мелехова по влиянию пожаров на лес (1948) у нас выполнены исследования о разрушении древостоев после пожаров (Исаев, 1961), о влиянии пожаров на почву (Трутнева и Былинкина, 1951; Поздняков, 1953) и продуктивность лесов (Гуняженко, 1958), на процессы заболачивания (Пьявченко, 1952), на смену напочвенного покрова (Соснин, 1952) и процессы возобновления леса (Соловьев и Солодухин, 1957; Щербаков и Чугунова, 1960), на формирование молодняков (Корчагин, 1954б; Денисов и Александров, 1954; Малышев, 1957). Много внимания уделено исследователями огневой очистке вырубок, но преимущественно с точки зрения обеспечения возобновления (Тимофеев, 1951; Декатов, 1953; Побединский, 1957; Марциновский Л. А. и Попов В. В., 1959, и др.).

Резюмируя изложенное о состоянии научно-технической разработки проблемы в СССР, мы можем указать, что в лесопожарной профилактике за последние полтора десятилетия у нас достигнуты успехи в решении вопросов планирования противопожарного устройства лесов, в разработке методики сигнализации и прогнозирования пожарной опасности, в технике выполнения отдельных видов работ, в сооружении наблюдательных пунктов, в применении новейших средств связи.

Результаты успешных исследований некоторых особенностей возникновения и развития пожаров дали возможность продвинуть разработку техники и тактики тушения пожаров, шире применять локализацию пожаров встречным низовым огнем и взрывчатыми веществами. На основе изучения отдельных сторон физики и химии горения при лесных пожарах и механизма действия известных огнегасящих веществ разработан принцип тушения лесных пожаров огнегасящими смесями и предложены варианты, по своей эффективности значительно превосходящие зарубежные предложения. Научные учреждения и органы охраны обстоятельно разработали технику тушения пожаров огнегасящими химикатами, вопросы строительства и оснащения пожарно-химических станций.

В результате опытных работ по использованию авиатранспорта всесторонне разработана техника использования самолетов и вертолетов для наблюдения за лесами и непосредственной борьбы с пожарами. Важным достижением последнего времени является разработка способа прокладки заградительных полос жидкостью с вертолета с помощью пожарной струи. В целом научно-техническая разработка проблемы охраны лесов от пожаров в СССР находится на уровне лучших зарубежных достижений.

### **Важнейшие направления в технической и научной разработке проблемы**

В период строительства коммунизма значение лесов как источника органического сырья будет возрастать. В докладе на ноябрьском Пленуме ЦК КПСС в 1962 г. Н. С. Хрущев особо подчеркнул необходимость сохранения лесов. По мере хозяйственного освоения лесных территорий и снижения общего процента лесистости относительно возрастают водоохранное и водорегулирующее значение лесов, их климатозащитные, санитарно-гигиенические функции, а вместе с тем возрастает значение проблемы лесных пожаров.

Отмеченные достижения в научной разработке проблемы в целом, и в частности в развитии техники пожаротушения, хотя и значительны, все же не соответствуют непрерывно возрастающим требованиям практики. Хозяйственное освоение лесных территорий в СССР происходит очень быстро. Одновременно увеличивается количество источников огня и возрастает опасность возникновения пожаров. Число возникающих пожаров непрерывно растет. Для снижения горимости лесов необходимо систематическое усиление охраны и совершенствование техники борьбы с пожарами. В связи с этим должна быть существенно ускорена и улучшена техническая и научная разработка проблемы. С помощью научных учреждений первоочередному реше-

нию подлежат многочисленные технические и организационно-хозяйственные вопросы.

Рассматривая прогноз развития техники охраны лесов, высказанный Хенди (Hendee C. W., 1962), следует считать, что в нем недооцениваются лесопожарная профилактика, противопожарное устройство лесов и одновременно слишком большое значение придается мощной и сложной технике обнаружения и тушения пожаров. Мы полагаем, что основой решения проблемы лесных пожаров, как и в других отраслях хозяйства, должна стать лесопожарная профилактика.

Задача предупреждения пожаров от молний может быть решена и без радарных установок и рассеивания грозových туч, выявлением участков, наиболее подверженных ударам молний, и изолированием их среди леса.

Использование искусственных спутников земли для обнаружения пожаров, надо полагать, выходит за рамки двадцатилетней перспективы. Облачность и задымление территории существенно ограничивают возможности современной техники наблюдения с больших расстояний.

Развитие тушения пожаров можно ориентировать на применение ракетной техники. Но узловым вопросом правильнее считать не доставку огнетушащих средств к пожару, а их изыскание. Кроме того, с ростом плотности населения возможности единовременного воздействия на большую площадь леса с больших расстояний постепенно снижаются, а не возрастают. Применительно к нашим условиям в ближайший двадцатилетний период развитие охраны лесов целесообразно направлять по мере интенсификации лесного хозяйства по пути развития лесопожарной профилактики и противопожарного устройства лесов, а на территориях, еще слабо освоенных,— по пути развития авиационной охраны.

В области предупреждения лесных пожаров для нас необходимо более детальное и углубленное изучение не только причин, но и обстоятельств, при которых возникают пожары. Только на этой основе возможна разработка действительно эффективных мер предупреждения пожаров. Одновременно с этим весьма полезно изучение эффективности разъяснительной работы, проводимой работниками лесного хозяйства среди различных групп населения. Такое исследование создало бы важные предпосылки для повышения пользы от усилий лесных работников.

Пожары в малонаселенных районах, виновниками которых являются работники экспедиций и туристы, в настоящее время в значительной мере определяют уровень горимости наших лесов. Поэтому очень важно выяснить обстоятельства, при которых возникают эти пожары, и в кратчайший срок разработать мероприятия по их предупреждению.

Принятые у нас в недавнем прошлом законодательные акты должны оказать определенное влияние на выполнение населением и хозяйственными организациями правил пожарной безопасности в лесу и содействовать снижению горимости лесов. В целях дальнейшего улучшения охраны лесов посредством законодательства и организационно-административных мер, мы полагаем, полезно было бы изучить, как применяются принятые законы.

Пожары от молний, по данным нашей статистики, не многочисленны. Однако, основываясь на зарубежном опыте, полезно проверить эти данные и попытаться выявить закономерности распределения ударов молний на местности, которые могут дать некоторую основу для профилактики в этой области.

Применительно к нуждам районов с интенсивным лесным хозяйством необходимо изыскание способов создания негоримых и устойчивых к огню насаждений. Мы полагаем, что должны быть испытаны, в частности, такие приемы, как уборка и планомерное профилактическое выжигание горючих материалов, изменение состава напочвенного покрова и подлеска, повозрастное регулирование состава древостоев.

Хотя связь весенней вспышки пожаров с огневой очисткой вырубок несомненна, однако молодняки, захламленные порубочными остатками, очень пожароопасны. Поэтому выяснение лесопожарных последствий принятых теперь способов очистки вырубок без сжигания порубочных остатков следует считать одной из актуальных задач исследователей.

В области мероприятий, которые облегчают тушение пожаров и снижают возможный ущерб от них, сигнализация пожарной опасности занимает важное место. Необходимо дальнейшее улучшение методики определения и прогнозирования пожарной опасности, методики заблаговременного определения начала и конца пожароопасных периодов и напряженности целых сезонов. Успехи современной метеорологии создают благоприятные предпосылки для решения этих задач.

Обнаружение возникающих пожаров с пожарных наблюдательных вышек и с самолетов — операция технически достаточно совершенная и недорогая. Применение в этой области телевидения экономичным может быть лишь в перспективе. Тяжелые последствия вызывает невозможность обнаружения пожаров в условиях задымления. Поэтому усилия научных работников должны быть направлены на скорейшее изыскание средств и способов обнаружения пожаров при задымлении местности.

Мероприятия по предупреждению распространения пожаров, в частности создание противопожарных разрывов и минерализованных полос, осуществляются у нас в больших размерах. Поэтому дальнейшее изучение эффективности этих мероприятий



и определение тех условий, где они действительно полезны, очень важно.

Вопросы расчленения лесной территории разрывами и минерализованными полосами должны рассматриваться в тесной связи с проблемой дорожного строительства в лесу. Намечившиеся в лесном хозяйстве тенденции замены полос и разрывов дорогами, сохранение лесовозных дорог после срубki леса полезно изучить с пожарно-технической и экономической сторон. Для интенсивного лесного хозяйства, мы полагаем, следовало бы учесть положительный опыт ГДР и начать разработку конструкций лесопожарных заслонов из наших древесных пород применительно к нашим лесорастительным условиям.

Принятые теперь нормативы для размещения полос и разрывов на лесной территории недостаточно обоснованы и не согласованы с реальными возможностями практики. Так, мы не можем расчленить все леса III группы магистральными противопожарными разрывами через 12 км один от другого. На выполнение этих работ современными темпами потребовалось бы огромное время. Такая задача невыполнима даже в лесах, закрепленных за лесозаготовительными предприятиями в качестве их сырьевых баз. Во многих случаях проведение противопожарных мероприятий и создание сооружений не требуется по состоянию насаждений и степени их пожароопасности. Поэтому очень важно провести изучение пожароопасности различных категорий леса, и на этой основе разработать более дифференцированные и реальные нормативы противопожарных мероприятий.

Своевременная подготовка сил и средств пожаротушения имеет очень большое значение в борьбе с пожарами. У нас обстоятельно разработаны вопросы комплексного оснащения пожарных депо, станций и пунктов. Однако мы не имеем технических норм размещения этих пожарно-тактических единиц на лесной территории. Научная разработка этого вопроса непосредственно связана с разработкой нормативов по противопожарному устройству лесов.

При разработке генеральных планов развития лесного хозяйства и схем противопожарного устройства лесов проект мероприятий по области, краю или республике в целом обычно получается как сумма планов всех лесхозов и леспромхозов, входящих в эту административно-хозяйственную единицу. Такая методика существенно снижает регулирующее и направляющее значение генеральных планов и схем. Идея согласования планов отдельных хозяйств в единую систему при этом также не реализуется. В этой области назрела настоятельная необходимость найти методически более совершенное решение.

Разработка генеральных планов и схем тесно связана с определением общего уровня затрат на охрану лесов в различных

условиях. Без убедительного решения экономических вопросов охраны лесов от пожаров проектирование мероприятий остается в значительной степени субъективным и необоснованным. Принципиальная и методическая разработка этих вопросов относится к числу неотложных задач лесной науки.

Техника тушения лесных пожаров в последнее время развивается в основном в двух направлениях: ведутся поиски особо эффективных огнегасящих веществ и механизмируются процессы тушения.

Мы уже указывали, что при тушении кромки низового пожара огнегасящие смеси расходуются в количестве от 100 до 250 г на погонный метр периферии или кромки пожара. При этом возникают трудности равномерного распределения такой небольшой дозы вещества на относительно большой горячей поверхности. Для этого приходится применять специальные распылители и поверхностно-активные вещества. Появление веществ в 2—3 раза более эффективных еще более усложнит эту задачу. Поэтому одновременно с поисками высокоэффективных огнегасящих веществ необходимы поиски и способов их применения.

Возможности обоснованных поисков эффективных огнегасящих веществ еще не исчерпаны. Не исключена возможность обнаружения ингибиторов пламенного горения; инертных газов, лучше чем кислород адсорбирующихся на раскаленных углях и образующих мономолекулярные слои; веществ, реагирующих с древесиной и дающих негоримые соединения (Амосов, 1963).

В этой связи следует отметить, что высокоэффективные огнегасящие вещества не могут компенсировать серьезные недостатки в организации охраны лесов. Начинаясь небольшой пожар погасить технически просто и не требуется особо эффективных огнегасящих веществ. Их считают необходимым применять, когда пожар охватил большую площадь. Но с одного километра кромки низового пожара при этом выделяется около 250 тыс. *ккал/сек*, а при верховом — от 5 до 10 млн. *ккал/сек*. Второе из этих чисел эквивалентно теплу, выделяющемуся при сгорании около 1 т бензина в секунду. Чтобы парализовать действие освобожденной в таком количестве энергии, мы должны противопоставить ей равное и даже несколько большее количество энергии. Естественно, что при пожарах такого масштаба самые высокоэффективные огнегасящие вещества потребуются в огромных количествах и всегда будут практически недостаточно эффективными.

Достижения в области механизации тушения пожаров у нас значительны, но мы не имеем еще подлинных вездеходов, которые с равным успехом преодолевали бы реки и болота и достаточно маневренно передвигались по лесу. Усилия механизаторов должны быть направлены на создание на базе одной из имею-

щихся транспортных машин вездехода, оснащенного средствами пожаротушения. Весьма важно, чтобы по размерам и весу машину можно было бы доставлять к пожару на вертолетах.

Многочисленные положительные свойства авиационного транспорта, в частности вертолета, дают основания считать, что усилия, направленные на механизацию тушения пожаров на основе использования авиатранспорта, могут оказаться также весьма плодотворными.

Мощные средства механизации тушения лесных пожаров, как и эффективные огнегасящие вещества, бывают необходимы тогда, когда пожар распространился на большой площади. Для тушения небольших начинающих лесных пожаров они не требуются. Поэтому в современных условиях решающее значение имеют вопросы организации борьбы с пожарами.

Для успешной борьбы с лесными пожарами нам необходима, прежде всего, такая организация охраны лесов, при которой мы могли бы каждый возникший пожар обнаружить в возможно короткий срок, а затем и ликвидировать до начала его дневного усиления, т. е. до 10—11 часов утра. С помощью четкой организации борьбы с возникающими пожарами можно резко снизить горимость наших лесов. Ярким и убедительным примером этого могут служить широко известные достижения работников охраны лесов в ленточных борах Алтайского края. Конечно, вопросы рациональной организации охраны лесов от пожаров в равной степени подлежат научной разработке, как и другие вопросы проблемы.

Недостаточно разработаны у нас вопросы тактики и стратегии борьбы с пожарами. Новые технические средства не могут сочетаться с устаревшими тактическими приемами. Разработка геометрической кинетики пожаров, прогнозирование их развития вместе с определением норм расхода времени и сил на тушение пожаров должны создать благоприятные предпосылки для дальнейшего совершенствования тактики тушения лесных пожаров.

Рассматривая научно-техническую разработку проблемы в историческом плане, мы считаем, что для последнего десятилетия как у нас, так и за рубежом наиболее характерным было решение относительно небольших частных технических задач охраны лесов от пожаров. Эти решения основывались преимущественно на привлечении достижений техники из смежных отраслей хозяйства. При этом использовались данные и представления о природе пожаров, добытые и сложившиеся большей частью еще в предвоенный период и в сороковых годах. Но возможности этих знаний теперь уже исчерпаны. Поэтому в настоящее время наблюдается характерное стремление применять мощную технику: тяжелые машины и орудия, взрывчатые вещества, дорогостоящий авиационный транспорт. Стихию и мощь

лесных пожаров при этом стремятся как бы подавить мощью сил и средств пожаротушения. Это простое и вполне логичное направление развития техники тушения пожаров может быстро дать положительные практические результаты, но экономически такое решение наиболее совершенным не будет.

Отставание в развитии охраны лесов и техники борьбы с пожарами от нужд практики в настоящее время обусловлено в значительной степени недостатком знаний природы пожаров, отставанием в изучении влияния природных и хозяйственных факторов на их возникновение и развитие. Поэтому выяснение закономерностей в этой области — одна из актуальных задач лесной науки. Как показывает опыт, это создает основу для решения многих из перечисленных вопросов техники охраны лесов от пожаров.

Изучение причин пожаров необходимо нам для повышения эффективности мероприятий по предупреждению пожаров, для их конкретизации и целенаправленности. Знание загораемости и пожароопасности лесных участков, их классификации по этим признакам необходимы для надлежащего осуществления противопожарного устройства лесов; для определения направления отпускаемых средств на защиту тех лесов, которые прежде всего нуждаются в ней. Техника проведения предупредительных мероприятий может совершенствоваться также лишь на основе знаний особенностей развития и возникновения лесных пожаров в конкретных условиях.

Наука помогает практике предвидением, и лесная пирология не составляет в этом отношении исключения. Для улучшения охраны лесов от пожаров крайне необходимо предвидение особо пожароопасных сезонов, предвидение вспышек лесных пожаров в пределах сезона, прогнозирование опасности возникновения пожаров за несколько дней и за сутки, прогнозирование развития и распространения по территории отдельных конкретных пожаров для принятия пожарно-тактических решений. Все это возможно лишь на основе углубленного лесоводственного изучения природы пожаров и выявления соответствующих закономерностей в их возникновении и развитии. Вполне обоснованно выдвигаются предложения об использовании в этой области кибернетики и электронно-счетных машин (Жуков, 1962, Нестеров, 1962). Но для этого природа интересующих нас явлений должна быть выражена математически.

Знание природы и закономерностей в развитии и распространении пожаров создает основу для разработки общих вопросов механизации борьбы с пожарами и установления исходных параметров при конструировании машин и аппаратов. Эти знания дадут возможность более правильно решать вопросы организации охраны лесов, стратегии и тактики борьбы с пожарами. Вместе с тем, только на основе дальнейшего углубленного изу-

чения природы пожаров можно ожидать появления принципиально новых и более эффективных способов борьбы с ними.

Изучение природы пожаров должно быть разносторонним и выявлять как общие закономерности в их возникновении и развитии, так и местные особенности. Те и другие в равной мере вооружают практику.

Возникновение и развитие лесных пожаров тесно связано с природными особенностями местности: с рельефом, климатом, лесной растительностью, с фенологическими фазами ее развития, с ходом и состоянием погоды. Закономерности в изменении этих факторов порождают соответствующие закономерности в возникновении и развитии пожаров.

Обобщая имеющиеся данные о природе пожаров, мы считаем, что в настоящее время можно утверждать наличие следующих пяти групп закономерностей в возникновении и развитии пожаров, которые подлежат дальнейшему изучению:

1) географические закономерности в возникновении лесных пожаров, выражающиеся в приуроченности их к строго определенным климатам и зонам лесной растительности;

2) климатические закономерности, выражающиеся в приуроченности вспышек лесных пожаров к периодически повторяющимся засушливым годам;

3) сезонные закономерности, обусловленные спецификой климата и сменой фенологических фаз развития лесной растительности, которые выражаются в том, что из года в год повторяется специфическое для каждой местности распределение пожаров по периодам пожароопасного сезона и в однообразном изменении характера пожаров по этим периодам;

4) периодические закономерности, которые обусловлены сменой погоды по естественным синоптическим периодам и выражаются в периодическом нарастании и убывании условий, благоприятных для возникновения и развития пожаров;

5) суточные закономерности, которые обусловлены изменением метеорологической обстановки в течение суток и выражаются в специфической приуроченности возникновения и интенсификации лесных пожаров к определенному времени суток.

К узловым вопросам изучения природы пожаров относятся также механизм возникновения и распространения горения по лесной территории, влияние на этот процесс структуры и влажности горючих материалов, развитие низовых пожаров в более сложные и опасные — верховые и почвенные, развитие беглых верховых пожаров в пятнистые, роль термического состояния атмосферы и воздушных потоков в развитии пожаров.

Фундаментальные экспериментальные исследования в этой области методически сложны, для их выполнения требуется специальная лабораторная аппаратура и сооружения полигонного типа. Последнее крайне необходимо, так как моделирование

пожаров даже в крупных лабораториях не может быть применено в широких масштабах. Наконец, для выполнения этих работ кроме лесоводов желательны участие химиков, физиков, метеорологов и математиков.

Не менее актуально изучение физики и химии горения в связи с поисками более эффективных огнегасящих химикатов. Эти поиски нерационально осуществлять путем простого расширения круга веществ, подлежащих испытанию. Выбор веществ должен быть теоретически обоснован, а для этого необходимо знание физики и химии горения лесных горючих материалов, слабых звеньев реакций. Конечно, изучение этих процессов должно быть подчинено решению общей задачи — изысканию более эффективных средств и способов тушения пожаров.

В итоге рассмотрения важных направлений технической и научной разработки проблемы можно отметить, что в области предупреждения пожаров необходимо изучение обстоятельств их возникновения для изыскания мер их предупреждения, изучение эффективности пропаганды идей сбережения леса и проводимых организационно-административных мероприятий, полезны поиски способов предупреждения пожаров от молний, путей создания негоримых и устойчивых против огня насаждений, выяснение лесопожарных последствий отказа от сжигания порубочных остатков.

Для предупреждения возникновения и облегчения тушения пожаров целесообразно дальнейшее улучшение методики сигнализации пожарной опасности, изыскание способов обнаружения пожаров при задымлении, выявление эффективности противопожарных разрывов и полос и условий для замены их заслонами, рационализация дорожного строительства в лесу, разработка вопросов противопожарного устройства лесов, выявление экономической эффективности различных противопожарных мероприятий и их систем.

Для улучшения техники тушения пожаров необходимы дальнейшие поиски более эффективных огнегасящих веществ, создание легких малогабаритных и высокопроходимых пожарных машин, разработка более эффективного использования авиатранспорта для тушения пожаров с воздуха. Следует особо подчеркнуть актуальность разработки вопросов организации и тактики тушения пожаров.

Разработка вопросов охраны лесов в намеченных направлениях будет протекать наиболее успешно при опережающем изучении особенностей физики и химии горения при лесных пожарах, механизма возникновения и распространения пожаров по территории, развития простейших форм в более сложные, взаимодействия пожара и атмосферы, общих и частных закономерностей в возникновении и развитии пожаров.

## Л и т е р а т у р а

- Албьяков М. П. Новый канавокопатель ЛКА-2.— Лесное хозяйство, 1953, № 10.
- Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1958.
- Амосов Г. А. и Красавина Н. Н. Характер горения в лесу и применение огнетушащих смесей ЭС-1 и ЭС-2.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1953, вып. 2.
- Амосов Г. А. Основы и перспективы поисков огнегасящих химических веществ. В сб. «Лесные пожары и борьба с ними». Изд-во АН СССР, 1963.
- Анцышкин С. П. Государственная лесная охрана.— Лесное хозяйство, 1950, № 11.
- Анцышкин С. П. Противопожарная охрана леса. М.— Л., Гослесбумиздат, 1952.
- Анцышкин С. П. Противопожарная охрана леса. М.— Л., Гослесбумиздат, 1957.
- Баженов В. А., Васильев П. В. и др. Современные вопросы лесного хозяйства и лесной промышленности в зарубежных странах (по материалам V Всемирного лесного конгресса). Под ред. А. Б. Жукова. М., Гослесбумиздат, 1962.
- Валендик Э. Н. Шкалы пожарной опасности для лесов Красноярского края и Тувинской АССР. В сб. «Лесные пожары и борьба с ними». Изд-во АН СССР, 1963.
- Вангенгейм Г. С. Метеорологическая обстановка лесных пожаров на Севере в 1936—1937 гг. В сб. «Борьба с лесными пожарами авианаземным методом». Гослестехиздат, 1939.
- Васильев П. В. и Жуков А. Б. Лесное хозяйство Швеции. Гослесбумиздат, 1961.
- Владимиров Е. Ленинские документы о лесном хозяйстве.— Лесное хозяйство, 1960, № 6.
- Вонский С. М. Интенсивность огня низовых лесных пожаров и ее практическое значение. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1957.
- Грибанов Л. Н. Борьба с лесными пожарами, возникающими от грозových разрядов.— Лесное хозяйство, 1953, № 4.
- Гриценко М. В. и Гаврилова В. М. Возникновение лесных пожаров в связи с условиями погоды.— Лесное хозяйство, 1952, № 4.
- Гриценко М. В. О новой шкале горимости леса.— Метеорология и гидрология, 1962, № 3.
- Гуняженко И. В. Повышение продуктивности сосновых жердняков, поврежденных низовым пожаром.— Лесное хозяйство, 1958, № 6.
- Дандре Б. Л. Опыт построения шкалы горимости и классов пожарной опасности нового типа.— Лесное хозяйство, 1953, № 11.
- Дандре Б. Л. О классах пожарной опасности леса.— Лесное хозяйство, 1956, № 2.
- Декатов Н. Е. Рационализация сжигания порубочных остатков в таежной зоне.— Лесное хозяйство, 1953, № 7.
- Денисов А. К. и Александров А. А. Формирование смешанных древостоев на свежих гарях.— Лесное хозяйство, 1954, № 10.
- Доктуровский В. С. Торфяные болота. ОНТИ, 1935.
- Егоров Н. Н. Тушение повальных пожаров встречным огнем.— Лесное хозяйство, 1954, № 6.
- Егоров Н. Н. К методике разработки местных шкал горимости.— Лесное хозяйство, 1956, № 4.
- Жданко В. А. Основы определения пожарной опасности в лесу в зависимости от погоды.— Лесное хозяйство, 1960а, № 6.
- Жданко В. А. Методы определения пожарной опасности в лесу.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1960б, вып. 4.

- Жуков А. Б. Задачи лесной науки Сибири и Дальнего Востока.— Лесное хозяйство, 1962, № 8.
- Замысловский В. Д. Зажигательный аппарат ЗА-1.— Бюлл. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1957, № 3.
- Замысловский В. Д., Сперанский В. М. Мотобур МБ-1. Проспект ВДНХ СССР, 1959.
- Зарубин Н. Квалификация преступлений, связанных с пожарами.— Пожарное дело, 1961, № 1.
- Исаев А. С. Лиственничные горельники в Амурской области как очаги массового размножения стволовых вредителей. Материалы планово-методического совещания по защите растений зоны Сибири и Урала. Новосибирск, 1961.
- Кашин К. И. и Гриценко М. В. Лесные пожары во Франции.— Метеорология и гидрология, 1950, № 3.
- Кашин К. И. О горимости леса.— Метеорология и гидрология, 1951, № 1.
- Кац Н. Я. Болота и торфяники. Учпедгиз, 1941.
- Киселев Ф. И. Как уберечь леса от пожаров. Хабаровск, Дальневосточное гос. изд-во, 1951.
- Киреев М. К. и Попцов Н. И. Плуг-корчеватель ПЛП-135.— Лесное хозяйство, 1957, № 11.
- Ковалин Д. Т. и Шинев И. С. Восьмая сессия Европейской лесной комиссии.— Лесное хозяйство, 1956, № 1.
- Колесников Б. П. Растительность восточных склонов Среднего Сихотэ-Алиня.— Тр. Сихотэ-Алиньского государственного заповедника, 1938, вып. 1.
- Корнильев Н. В. Нижне-Тунгусские лесные пожары и особенности борьбы с ними.— Лесной журнал, 1959, № 5.
- Корнильев Н. В. Малогабаритный шнековый покровосдиратель.— Лесная промышленность, 1960, № 8.
- Коровин Г. Н. Усовершенствование взрывного метода борьбы с лесными пожарами.— Лесное хозяйство, 1962, № 4.
- Корчагин А. А. Условия возникновения пожаров и горимость лесов Европейского Севера.— Ученые записки ЛГУ, сер. географических наук, 1954а, вып. 8.
- Корчагин А. А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожара на Европейском Севере.— Тр. Ботанического института им. В. Л. Комарова, сер. геоботаническая, 1954б, вып. 9.
- Красавина Н. Н. Перспективы газового тушения лесных пожаров в связи с хемосорбционной способностью горячих углей.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1959, вып. 3.
- Красавина Н. Н. и Лоберbaum В. Г. Применение смачивателей при тушении лесных пожаров.— Лесное хозяйство, 1961, № 5.
- Крохалев А. К. Пути увеличения срока службы минерализованных полос.— Бюлл. науч.-техн. информ. ДальНИИЛХ, 1957, № 2.
- Курбатский Н. П. Об оснащении лесного хозяйства средствами пожаротушения.— Лесное хозяйство, 1951, № 3.
- Курбатский Н. П. и Румянцев А. П. Сосновская укрупненная пожарно-химическая станция. Л., Изд-во ЦНИИЛХ, 1954.
- Курбатский Н. П. и Красавина Н. Н. Тушение лесных пожаров химическими веществами. Л., Изд-во ЦНИИЛХ, 1954.
- Курбатский Н. П. Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности в лесах. Леноблиздат, 1954.
- Курбатский Н. П. Локализация лесных пожаров встречным низовым огнем.— Пожарное дело, 1955, № 6.
- Курбатский Н. П. и Сперанский В. М. Применение пожарных автоцистерн для тушения лесных пожаров. Л., Изд-во ЦНИИЛХ, 1955.
- Курбатский Н. П. Результаты опытов по использованию вертолета для борьбы с лесными пожарами.— Бюлл. науч.-техн. информ. ЦНИИЛХ, 1956а, № 1.



- Курбатский Н. П. Некоторые особенности и способы тушения почвенных пожаров.— Бюлл. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1956б, вып. 2.
- Курбатский Н. П. Определение степени пожарной опасности в лесах.— Лесное хозяйство, 1957а, № 7.
- Курбатский Н. П. Прокладка противопожарных заградительных полос с самолетов и вертолетов. Бюлл. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1957б, № 3.
- Курбатский Н. П., Жданко В. А. и Красавина Н. Н. Лесные почвенные пожары и борьба с ними. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1957.
- Курбатский Н. П. Тушение лесных пожаров водой. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1958.
- Курбатский Н. П. Причины изменений интенсивности лесных пожаров в течение суток.— Лесное хозяйство, 1960, № 4.
- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. Гослесбумиздат, 1962.
- Курбатский Н. П. Определение пожарной опасности в лесах по местным шкалам. В сб. «Лесные пожары и борьба с ними». Изд-во АН СССР, 1963а.
- Курбатский Н. П. Шкалы пожарной опасности для лесов Средней Сибири и Забайкалья. В сб. «Лесные пожары и борьба с ними». Изд-во АН СССР, 1963б.
- Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и ее определение по местным шкалам. В сб. «Материалы по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока». Красноярск, 1963в.
- Малышев Л. И. Влияние пожаров на леса Северного Байкала.— Тр. Восточно-Сибирского филиала АН СССР. 1957, вып. 5.
- Марцынковский Л. А. и Попов В. В. К вопросу о целесообразности огневой очистки лесосек в сосняках зеленомошниковых Приангарья (Красноярский край). В сб. «Вопросы лесного хозяйства Сибири и Дальнего Востока», Красноярск, 1959.
- Мелехов И. С. Опыт изучения пожаров в лесах Севера. Архангельск, Изд-во АЛТИ, 1939.
- Мелехов И. С. О теоретических основах лесной пирологии. Архангельск, Изд-во АЛТИ, 1944.
- Мелехов И. С. Сезоны лесных пожаров и построение географической схемы лесопожарных поясов.— Сб. науч.-иссл. раб. Архангельского лесотехнического института, 1946, вып. VIII.
- Мелехов И. С. Природы леса и лесные пожары. Архангельское изд-во, 1947.
- Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. М.— Л., Гослестехиздат, 1948.
- Мелехов И. С. Основные пути технического прогресса в лесном хозяйстве.— Лесное хозяйство, 1963, № 1.
- Миндовский В. А. О лесных пожарах.— Лесопромышленный вестник, 1907, № 44—45.
- Мокеев Г. А., Николаев С. Ф. и Рекунов В. С. Авиационная охрана лесов от пожаров. Гослесбумиздат, 1950.
- Мокеев Г. А. и др. Временная инструкция по применению взрывчатых материалов для локализации низовых лесных пожаров. Лениздат, 1953.
- Мокеев Г. А. Некоторые вопросы авиационной охраны лесов от пожара.— Лесное хозяйство, 1955, № 5.
- Мокеев Г. А. К вопросу о планировании противопожарных мероприятий в лесах СССР.— Вестник сельскохозяйственной науки, 1958а, № 8.
- Мокеев Г. А. Об эффективности и стоимости наземной и авиационной охраны лесов от пожаров.— Лесной журнал, 1958б, № 3.
- Мокеев Г. А. Пожарная наблюдательная мачта.— Лесное хозяйство, 1959, № 12.
- Мокеев Г. А. Пожарные пояса и время наиболее сильного развития лесных пожаров.— Лесное хозяйство, 1961, № 8.
- Мокеев Г. А. Принципы лесопожарного районирования областей, краев и АССР.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1962, вып. V.

- Молчанов А. А. Повреждение насаждений и убытки от пожаров.— Лесная индустрия, 1934, № 4.
- Молчанов А. А. Скорость распространения лесных пожаров в зависимости от метеорологических условий и характера древостоя.— Лесное хозяйство, 1940а, № 6.
- Молчанов А. А. Влияние лесных пожаров на древостой.— Тр. Ин-та леса АН СССР, 1940б, т. XVI.
- Молчанов В. П. Встречный огонь в борьбе с верховыми и сильными низовыми пожарами.— Лесное хозяйство, 1956, № 6.
- Молчанов В. П. Об изменении влажности хвой сосны обыкновенной в связи с верховыми пожарами.— Ботанический журнал, 1957, № 2.
- Молчанов В. П. Условия возникновения верховых пожаров. Лесное хозяйство, 1957б, № 8.
- Молчанов В. П. О вертикальном распределении скорости ветра в сосновых насаждениях в связи с изучением лесных пожаров.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1960, вып. 4.
- Молчанов В. П. Вертолет на службе пожарной охраны.— Пожарное дело, 1962, № 9.
- Наставление по охране лесов от пожаров. Изд-во МСХ СССР, 1956.
- Нестеров В. Г. Природа лесных пожаров в сосняках-брусничниках и сосняках-черничниках.— Тр. ВНИИЛХ, 1939а, вып. 9.
- Нестеров В. Г. Природа лесных пожаров и борьба с ними. Гослестехиздат, 1939б.
- Нестеров В. Г. Основы противопожарного устройства лесной территории.— Лесное хозяйство, 1941, № 3.
- Нестеров В. Г. Пожарная охрана леса. Гослестехиздат, 1945.
- Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. Гослесбумиздат, 1949.
- Нестеров В. Г. Кибернетика, биология и лесоводство.— Лесное хозяйство, 1962, № 8.
- Побединский А. В. Очистка лесосек. Гослесбумиздат, 1957.
- Поздняков Л. К. Влияние беглых низовых пожаров на режим влажности и температуры почвы.— Лесное хозяйство, 1953, № 4.
- Правила пожарной безопасности в лесах СССР. Изд-во МСХ СССР, 1953.
- Пьявченко Н. И. Причины заболачивания лесных гарей.— Лесное хозяйство, 1952, № 12.
- Пьявченко Н. И. Бугристые торфяники. Изд-во АН СССР, 1955.
- Пьявченко Н. И. Торфяники русской лесостепи. Изд-во АН СССР, 1958.
- Свиридов А. Б. и Полукорнев Ю. И. Плуг ПЛ-70 навесной к трактору ДТ-54А.— Лесное хозяйство, 1960, № 3.
- Симский А. М. Подновление противопожарных защитных полос химическими веществами. Лесное хозяйство, 1950, № 5.
- Симский А. М. Лесные пожарно-химические станции. Лесное хозяйство, 1952, № 8.
- Симский А. М. Лесные пожарно-химические станции. Гослесбумиздат, 1956.
- Симский А. М. Повышение огнетушащих способностей химикатов. Лесное хозяйство, 1959, № 4.
- Симский А. М. Новый ранцевый опрыскиватель. Лесное хозяйство, 1961, № 3.
- Симский А. М. Огнетушитель на лесном пожаре. Пожарное дело, 1963, № 2.
- Скворецкий В. И. Опыт авиационной охраны лесов в Западной Сибири.— Тр. по лесному хозяйству, вып. 2, 1955.
- Соколовский И. О. О природе лесных пожаров.— Лесное хозяйство, 1939, № 4.
- Соловьев К. П. и Солодухин Е. Д. Лесовосстановление на гарях в хвойношироколиственных лесах Дальнего Востока.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1957, вып. 1.

- Соснин Л. И. Сосновые леса Петриковского лесхоза Полесской области и вопросы о производных типах леса.— Сб. научных трудов АН БССР, 1952.
- Сперанский В. М. Съёмная пожарная лесная автоцистерна ПЛАЦ.— Бюлл. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1956, № 1.
- Сперанский В. М. Малогабаритная лесная переносная мотопомпа.— Сб. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1961а, вып. 2.
- Сперанский В. М. Пожарная наблюдательная мачта ПНМ-2.— Лесное хозяйство, 1961б, № 4.
- Сперанский В. М. Ранцевый пневматический огнегаситель-опрыскиватель РООП-4.— Сб. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1961в, вып. 2.
- Стародумов А. М. К вопросу о классификации насаждений по степени пожарной опасности.— Бюлл. науч.-техн. информ. ДальНИИЛХ, 1957а, вып. 2.
- Стародумов А. М. К вопросу о лесных пожарах в кедрово-широколиственных лесах Дальнего Востока.— Бюлл. науч.-техн. информ. ДальНИИЛХ, 1957б, вып. 2.
- Стародумов А. М. О горимости лесов в различных географических районах Дальнего Востока.— Бюлл. науч.-техн. информ. ДальНИИЛХ, 1958, вып. 5.
- Стародумов А. М. Методические основы лесопожарного районирования Дальнего Востока. В сб. «Вопросы лесного хозяйства Сибири и Дальнего Востока». Красноярск, Изд-во Сибирского технологического института, 1959а.
- Стародумов А. М. О целевом назначении и эффективности защитных минерализованных полос.— Бюлл. науч.-техн. информ. ДальНИИЛХ, 1959б, № 6.
- Стародумов А. М. Планирование противопожарных мероприятий в лесах Хабаровского края. Лесное хозяйство, 1960, № 3.
- Тимофеев В. П. Очистка мест рубок леса. Гослесбумиздат, 1951.
- Тихонравов Н. А. и Соловьев С. А. Лесной навесной плуг на тракторе КТ-12.— Лесное хозяйство, 1954, № 1.
- Трутнева А. Г. и Былинкина В. Н. Влияние отжига на изменение свойств почвы.— Почвоведение, 1951, № 4.
- Успенский С. Н. Пожары от молний в ленточных борах Прииртышья и их предупреждение. Алма-Ата. Изд-во МСХ Каз. ССР, 1958.
- Уткин А. И., Исаев А. С. Низовые пожары в лиственных лесах Восточной Сибири и их влияние на состояние древостоев. В сб. «Лиственные леса». Красноярск, Изд-во Сибирского технологического института, 1962.
- Федоров Л. А. Предсказание начала периода весенних пожаров и нограмма для определения пожарной опасности в лесах.— Лесное хозяйство, 1958, № 4.
- Фуряев В. В. Шкалы пожарной опасности для лесов Забайкалья. В сб. «Лесные пожары и борьба с ними». Изд-во АН СССР, 1963.
- Чаркина А. П. Методы прогнозов горимости лесов Центральной лесостепи.— Сборник работ по лесному хозяйству ВНИИЛМ, 1958, вып. 36.
- Чаркина А. П. Применение многолетних трав в системе предупредительных противопожарных мероприятий.— Сб. работ по лесному хозяйству ВНИИЛМ, 1962, вып. 45.
- Червоный М. Г. Применение авиации при охране лесов от пожаров. Гослесбумиздат, 1961.
- Щербаков И. П. и Чугунова Р. В. О классификации гарей в юго-западной и центральной Якутии.— Изв. СО АН СССР, вып. 1, 1960.
- Щекотин Е. А. Плуг-канавокопатель ПКНЛ-500.— Сб. науч.-техн. информ. ЛенНИИЛХ, 1961, вып. 1.
- Waggons J. S. Fire fighting in laboratories (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U.S.A., 1958.
- Waggons J. S. Control of lightning fires in american foresters (Fifth World Forestry Congress), Washington, 1960.

- Brown A. A. The significance of fire to world forestry (Fifth World Forestry Congress), Washington, 1960.
- Chandler C. C. Today's approach to fire prevention research. (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U.S.A., 1958.
- Chandler C. C. Risk rating for fire prevention planning.—*J. of Forestry*, 1961, N 2.
- Countryman C. M. Application of the California burning index. (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U.S.A., 1958.
- Countryman C. M. and Schroeder M. J. Fire environment—the key to fire behavior (Fifth World Forestry Congress) Washington, 1960.
- Davis K. P. a. o. Forest fire: control and use. Mc Grow-Hill Co., New-York, Toronto, London, 1959.
- Fransilla M. The dependence forest fire danger on meteorological factors.—*Acta forestalia fennica*, 1959, 67.
- Greeley A. W. Aerial support of ground fire fighters (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Hardy C. E. Weather measurements for fire behavior (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U.S.A., 1958.
- Harris H. K. New developments in equipment (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U.S.A., 1958.
- Handee C. W. Forest fire prevention-progress and prediction. *J. Forestry*, 1962, N 6.
- Hesterberg G. A. Tests of sodium-calcium borate in controlling lake states forest fires (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Hübner. Entwicklung eines Waldbrandriegelsystem in Mosigkauer Heide (Dessen).—*Forst und Jagd*, 1959, 7.
- Inoue K. Study on breakout and spread of forest fire in Japan (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Klingauf K. P. und Liess. Projektierung von Waldbrandriegeln im StFB Weißwasser (Oberlausitz).—*Forst und Jagd*, 1959, 7.
- Lange S. Feuerlöschfahrzeuge für die Waldbrandbekämpfung.—*Forst und Jagd*, 1958, 3.
- Luke R. H. Meeting protection objectives in difficult years (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Macleod J. C. Research in forest fire control (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Murray W. E. Tactical use of fire retardants from the air. Fire control notes (Nombre de feux de forêt et superficie incendiée par année 1924—1959).—*Forêt conservation*. 1961, 27, N 4.
- Owens E. T. Keep the fire small.—*Pulp Paper Mag. Con.*, 1957, 58, N 10.
- Paavo Ili-Vankuri. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta.—*Acta forestalia fennica*, 1959, 67, N 4.
- Pfeiffer A. et al. *Ochrana Lesů*. Praha, 1961.
- Phillips C. B. Forest fire retardants (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.
- Proceedings of the fire weather conference. Melbourne, Commonwealth of Australia Bureau of Meteorology, 1958.
- Reifsnnyder W. E. 1960. Weather and fire-control practices (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Reinecker H. P. Initial attack aircraft (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.
- Research in Forestry and Forest Products. Rome, 1953.
- Schlapfer T. A. National fire behavior training (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.
- Schraeder M. J. Fireclimate Surveys in California (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.
- Shields H. E. New developments in fire equipment (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.

- Singer S. F. Forest fire detection from satellites. J. Forestry, 1962, N 12.
- Strömdahl J., Holmberg S. G. Statens Brand-inspektion Meddelanden. 1957—1962.
- Tuve R. L. Science, research and concepts (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.
- Uggla E. Ecological effects of fire on north swedish forests (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960
- Waklee F. New developments in fire equipments (Meeting of Western Fire Research Council. Portland 4). Oregon, U. S. A., 1958.
- Weck. Waldbrand, seine Vorbeugung und Bekämpfung. Stuttgart, 1950.
- Wersenger H. Bekämpfung von Waldbränden mit Hilfe von Sprengstoffen.—Forst und Jagd, 1959, 7.
- Zieger. Waldbrandprognose.—Forst und Jagd, 1953, 5.
- Zieger. Vorbeugender Brandschutz durch Waldbanmaßnahmen.—Forst und Jagd, 1954, 5.
- Zieger und Lange. Beiträge zur Waldbrand-Prognose.—Archiv für Forstwesen, 1960, 2.

## ПРОНИКНОВЕНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕТРА В СОСНЯКАХ

Ветер значительно влияет на жизнедеятельность леса. Н. С. Нестеров (1908) ставит его в один ряд с такими факторами, как свет и влага. Принося более сухие массы воздуха, ветер усиливает транспирацию. Уже при скорости ветра в  $0,2-0,3$  м/сек. транспирация увеличивается примерно в три раза (Ткаченко, 1939). Значительное влияние оказывает ветер на формирование корневой системы деревьев. Сильные ветры замедляют рост ствола в высоту и увеличивают прирост у комля (Иванов, 1934).

Ветер — виновник и тех разрушений в лесу, которые мы часто наблюдаем в виде вываленных с корнем деревьев и сломанных стволов. Он способствует увеличению испарения и понижению влажности почвы (Молчанов, 1961). Последнее увеличивает высушивание горючих материалов и тем самым повышает пожароопасность в лесу. Уже при относительной влажности воздуха  $40-50\%$  может возникнуть небольшой беглый пожар, а при снижении ее до  $30\%$  пожарная опасность резко возрастает. При относительной влажности воздуха  $20\%$  низовые пожары переходят в верховые (Ситнов, 1930; Жикин, 1939; Ожогин, 1939). Эти данные позднее подтвердили Д. В. Гофман и У. В. Осборн (по Серебренникову и Матренинскому, 1937). По данным Н. П. Курбатского (1960), изменение относительной влажности воздуха с  $56$  до  $90\%$  снижает скорость развития пожара вдвое.

Лесное пламя относится к диффузионным. Кислород в пламя лесного пожара поступает путем диффузии, а также от воздушных потоков, конвекции и ветра (Амосов, 1958). На развитие лесных пожаров особенно сильно влияет ветер.

Уже при скорости ветра  $1-2$  м/сек скорость распространения пожара в различных по полноте древостоях увеличивается в  $5-6$  раз (Молчанов, 1940). При скорости ветра  $17$  м/сек скорость движения фронта пожара может достигать  $10-12$  км/час. Искры могут лететь на  $0,5-1$  км и вызывать новые очаги пожара (Нестеров, 1939). При скорости ветра  $1-5$  м в дневные часы в сосняках разных типов скорость продвижения низового пожара колеблется от  $50$  до  $1100$  м/час (Мелехов, 1947). Усиление

скорости продвижения низового пожара даже при очень слабом ветре (1—1,5 м) подтверждают и опыты С. М. Вонского (1957).

Интересуются и усиленно занимаются решением этого вопроса за рубежом. Так, американский физик Р. М. Байрам (Burgam, 1959) отмечает, что ветер оказывает влияние на развитие лесного пожара путем изменения температуры и влажности воздуха в тонкой воздушной «пленке», прилегающей к горючим материалам.

Рейфсnyder (Reifsnnyder, 1960) считает, что как только горячее воспламеняется и пожар начался, наиболее важным из всех метеорологических факторов, влияющих на его развитие, является ветер.

Г. Е. Виттенгам (Whittingham, 1958), изучая влияние метеофакторов на развитие пожаров при выжигании «кустарников», особо большое значение придает ветру. «...Когда воздух был спокоен,— пишет он,— пламя замирало местами почти совсем, пока порывы северо-западного ветра не возвращали его опять к жизни». Это подтверждают и наблюдения К. Иноуе (Inoue, 1960).

Но не только ветер влияет на развитие пожара, а и пожар влияет на увеличение скорости ветра. Эти две стихии как бы взаимно определяют друг друга. По этому поводу высказано много предположений, но наблюдений у нас еще очень мало. Усиление циркуляции воздуха в зоне пожара визуально наблюдал еще лесовод А. Левиз (1883). И. С. Мелехов (1939) указывает, что скорость ветра на расстоянии 4 м от огня равна 0,33 м/сек, в непосредственной близости от огня 0,58 м/сек, а над огнем вдвое больше — 0,63 м/сек. По этому вопросу в 1954—1955 гг. выступали в журнале «Лесное хозяйство» Н. Н. Егоров, Н. П. Курбатский.

С. М. Вонский (1957) на основе опытов делает вывод, что интенсивность огня находится в определенной зависимости от скорости ветра, влажности и вида горючего. Он считает, что ветер — основной фактор, влияющий на интенсивность пожара.

Знания ветрового режима в зоне пожара дадут возможность решить ряд практических задач. Можно будет производить расчеты объема работ при тушении пожара, уверенно выбирать средства и способы тушения, тактические приемы, определять необходимую скорость тушения пожара, обеспечивая при этом технику безопасности.

Г. Ю. Вильсон и А. Г. Робин (Wilson and Robin, 1958) подчеркивают, что очень мало известно о местной ветровой циркуляции в районе пожара и его отношении к общей ветровой обстановке.

Однако прежде, чем приступать к изучению ветрового режима в зоне пожара, необходимо уточнить существующие представления о ветре в лесу без пожара, так как в литературе этот вопрос освещен разноречиво.

Еще Я. Вайнберг (1884), опираясь на наблюдения В. Т. Собичевского, И. У. Палимпсестова и А. А. Крылова, писал, что проникновение ветра через лес «факт неоспоримый, как нечто, в справедливости коего можно убедиться каждому при самом, даже поверхностном наблюдении».

И. В. Воейков (цит. по Вайнбергу, 1884) сравнивает проникновение слабого ветра в лесу с хорошей вентиляцией и добавляет, что «...обмен воздуха идет деятельно, но почти нечувствительно».

Н. С. Нестеров (1908), проводя наблюдения за скоростью ветра в различных древостоях, пришел к выводу, что деревья не представляют сплошной стены и ветер проникает в лес тем дальше, чем сильнее ветер и чем реже древостой. Но в полных сосновых древостоях уже через 200 м царит полный штиль даже при сильном ветре.

Отдельные авторы современных учебников и пособий по лесоводству — М. Е. Ткаченко (1939), Г. Р. Эйтинген (1949), В. П. Тимофеев и И. В. Дылис (1953) считают, что под пологом леса ветра нет. Тем не менее Р. Гайгер (1939), изучая ветер на различных высотах от поверхности почвы в лесу, пришел к выводу, что скорость ветра под пологом леса может достигать заметной величины. По его наблюдениям, ветер скоростью от 1 до 4 м/сек над деревьями в чистых сосновых древостоях в кронах несколько стихал и скорость его составляла 80% скорости ветра над деревьями, а на высоте 1,1 м от напочвенного покрова 50—60%. В сосновых древостоях с подростом из ели скорость ветра в кронах равнялась 50%, а на высоте 1,1 м лишь 17% скорости ветра над пологом.

Подобные наблюдения провел и В. Л. Фонс (Fons, 1940) в чистых сосновых древостоях высотой 21 м. Он измерял скорость свободного ветра на уровне 43 м, а затем в кронах на высоте 10 м, причем нижняя граница полога у него была на высоте 3 м от поверхности почвы. Третья точка замера скорости находилась на высоте 0,76 м над поверхностью почвы. Из его данных следует, что скорость ветра на высоте 0,76 м равнялась 1,2 м/сек при скорости над пологом леса 6,7 м/сек.

С. А. Сапожникова (1950) объясняет проникновение ветра под полог леса турбулентностью воздушных потоков. Пронесясь над лесом, воздушные потоки вследствие шероховатости полога увеличивают свою турбулентность, врываются в кроны, проникают под полог, отражаясь от стволов, а главное от земли, и изменяют свое направление с вертикального на горизонтальное. Такого же мнения придерживаются Б. П. Алисов и др. (1952).

По данным П. Д. Червякова (1958), скорость ветра под пологом древостоя примерно в 6 раз меньше, чем на открытом месте.



А. А. Молчанов (1961) проводил наблюдения за скоростью ветра с целью наиболее полного выяснения причин, вызывающих усиление испарения с почвы и повышенную транспирацию древостоев. Из его данных также следует, что скорость ветра под пологом леса может достигать 40—60% от скорости на открытом месте. В. П. Молчанов (1960) повторил опыт Фонса и получил сходные результаты. У него, как и в наблюдениях ранее перечисленных авторов, скорость ветра над кронами не превышала 6—7 м/сек. По его данным, скорость ветра в кронах составляет в зависимости от характера древостоя 15—50% от скорости на высоте 2 м над кронами, 43—50% в стволовой части без подраста, 8—30% с подлеском и подростом и 1—8% у поверхности почвы.

В. Н. Виппер (1962) и А. П. Волошина (1962), наблюдая микроклимат леса, также отмечают ветер под пологом леса скоростью 1—1,5 м/сек при скорости 2—3 м/сек на открытых участках.

Однако мы видим недостаток всех перечисленных работ в том, что наблюдения велись при скоростях ветра менее 6 м/сек. Имеются лишь несколько наблюдений при скорости ветра на открытом месте 6—7 м/сек. Нет наблюдений за изменением скорости ветра под влиянием рельефа местности. Слабо освещен вопрос и о проникновении ветра под полог леса.

Первая часть нашего исследования состояла из наблюдений за затуханием скорости ветра перед опушкой и в глубине леса на различном расстоянии от опушки, вторая — из наблюдений за проникновением ветра под полог леса и изменением его скорости на различном расстоянии от поверхности почвы, третья представляла наблюдения за изменениями скорости ветра в зависимости от повышения местности.

Наблюдения проведены в приобских борах Западно-Сибирской низменности. В сосняках они проводились с целью не усложнять опыты более разнообразными древостоями. Кроме того, это было необходимо для сопоставления результатов с ранее полученными данными других авторов. Как объект наблюдений за ветром выбранный район имеет то преимущество, что по многолетним метеорологическим данным здесь весной наблюдаются очень сильные ветры, а летом ровные умеренные.

### Проникновение ветра в лес

Н. С. Нестеров отмечает, что ветер, врываясь с опушки в лес, благодаря трению о кроны и стволы деревьев уже через 100—150 м почти полностью теряет свою силу. А в полных древостоях на расстоянии 200 м от опушки в лесу полный штиль возможен даже при очень сильных ветрах на открытом месте.

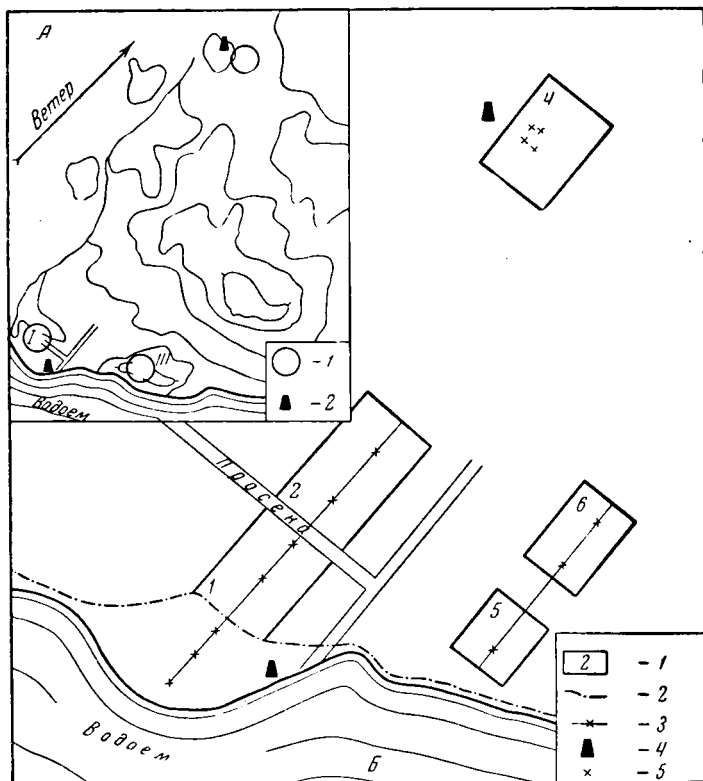


Рис. 1. Схема района наблюдений

А — схема расположения объектов наблюдений (горизонталь проведена через 20 м): 1 — объекты наблюдений; 2 — пожарная наблюдательная вышка; Б — схема расположения участков: 1 — участок леса; 2 — опушка леса; 3 — визиры; 4 — пожарные наблюдательные вышки; 5 — места расположения приборов

А. И. Кайгородов (по Алисову, 1952) закон убывания скорости ветра в лесу, как физический процесс, выразил формулой

$$A_0 = Ae^{-ax},$$

где  $x$  — расстояние от опушки;  $A_0$  и  $A$  — скорости ветра на опушке и в лесу на высоте 2 м соответственно;  $a$  — некоторая постоянная, зависящая от характера леса,  $e$  — основание натуральных логарифмов.

Наблюдая за изменением скорости ветра в семи различных насаждениях, он вывел коэффициент затухания ветра по мере удаления его от опушки в глубь леса. Этот коэффициент для

густого кустарника высотой 2—3 м равен 0,00056, в густом лиственном лесу — 0,0182 в обнаженном состоянии, а в елово-березовом насаждении высотой 8,5 м — 0,02312.

Лесной массив, в котором были выбраны наши участки, начинался в 200 м от берега водохранилища ровной стеной к господствующим ветрам западной четверти. Ветер в основном «врезался» в стену леса. По линии господствующего ветра, начиная от опушки леса, был провешен визир, на котором мы взяли 2 участка, следовавших один за другим с 10-метровым разрывом (см. объект I на рис. 1). Для характеристики участков на них были отграничены пробные площади размером 1 га, на которых проводилась перечислительная таксация древостоя и подроста. Характеристика участков приведена в табл. 1, где они указаны последовательно за номерами 1 и 2.

Для уточнения методики исследования мы провели визуальные наблюдения за распространением перед опушкой и в лесу дыма от дымовых шашек ДМ-6. С этой целью на опушке на расстоянии 50, 100 и 150 м от стены леса были зажжены одновременно три дымовых шашки. Визуальные наблюдения при скорости ветра 6 м/сек на расстоянии 150 м от стены леса показали следующие результаты.

Дым шашек в интервале от 150 до 50 м перед опушкой стелется над землей слоем 4—6 м. Примерно с 50 м от опушки он постепенно начинает подниматься и достигает вершин деревьев, но лишь незначительная часть его уходит выше крон. Основное облако густого дыма целиком входит в лес и распространяется на всем протяжении от поверхности почвы до верхней границы древесного полога. Облаком таких размеров дым прошел через

#### Характеристика

№ участ-ков	Тип соснового леса	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см
1	Брусничниковый . . . . .	10 С	110	16,4	21,1
2	» . . . . .	10СедБ	40	—	—
3	» . . . . .	10 С	90	15,6	22,4
4	Бруснично-разнотравный . .	10СедБ	130	21,5	20,4
5	Бруснично-лишайниковый . .	10 С	90	16,6	17,8
6	Брусничниковый . . . . .	10 С	90	17,3	16,0

наши участки и распространился далее на 1,5 км. Над древостоем дым не поднимался. Эти наблюдения дали общую картину проникновения ветра в лес, а также позволили более рационально разместить пункты наблюдений.

При наблюдениях за скоростью свободного ветра принималась скорость на высоте 30 м от поверхности почвы, регистрируемая анеморумбографом М-12. Эта высота взята потому, что поблизости не было открытого участка, на котором можно было бы измерять скорость ветра без влияния опушки леса. Мы воспользовались имеющейся рядом с участком 1 пожарной наблюдательной вышкой и установили на ее верхней точке прибор. Вышка находилась в 200 м от начала визиера. Высота прибора над самыми высокими деревьями была 10 м. Несмотря на несколько большую шероховатость поверхности древственного полога, чем открытого участка, эта высота позволила точнее замерить скорость свободного ветра, чем это достигается на метеостанциях на высоте 10—11 м от поверхности почвы. Скорость ветра перед опушкой и в лесу замерялась чашечными анемометрами МС-13, установленными на высоте 2 м от поверхности почвы. Эти анемометры имеют большую инерционность, и поэтому мы, руководствуясь рекомендациями С. А. Сапожниковой (1950), при определении скорости ветра во всех наших опытах отсчеты производили через 10 мин. Всего было сделано 15 отсчетов и из них взята средняя скорость ветра. Анеморумбограф автоматически фиксировал среднюю скорость ветра за 10 мин.

Перед опушкой анемометры были установлены на расстоянии 25, 75, 125 м от стены леса, в лесу — на расстоянии 100, 200, 300 и 500 м (рис. 2, а). Скорость ветра замерялась одно-

Таблица 1

участков

Полнота	Число деревьев на 1 га	Глубина полога, м	Сомкнутость полога	Подрост	Подлесок	Покров
1,1	1118	—8	1,0	С (40) редкий	Отсутствует	Брусника, черника, зеленые мхи
—	3150	—2	0,5	»	»	»
0,64	480	—8	0,6	»	»	»
0,5	300	—10	0,6	С (40) 400 шт. на 1 га	»	Брусника, разнотравье
0,6	812	—8	0,6	С (30) 842 шт. на 1 га	»	Брусника, лишайники
0,7	1369	—9	0,8	С (30) 740 шт. на 1 га	»	Брусника, зеленые мхи

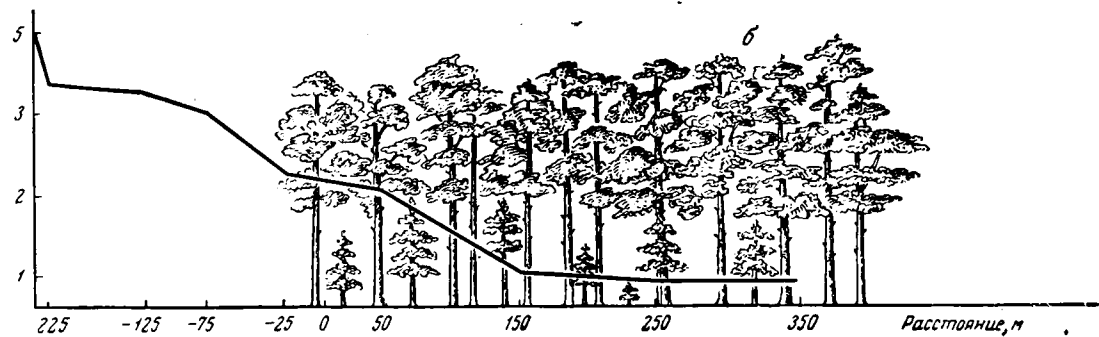
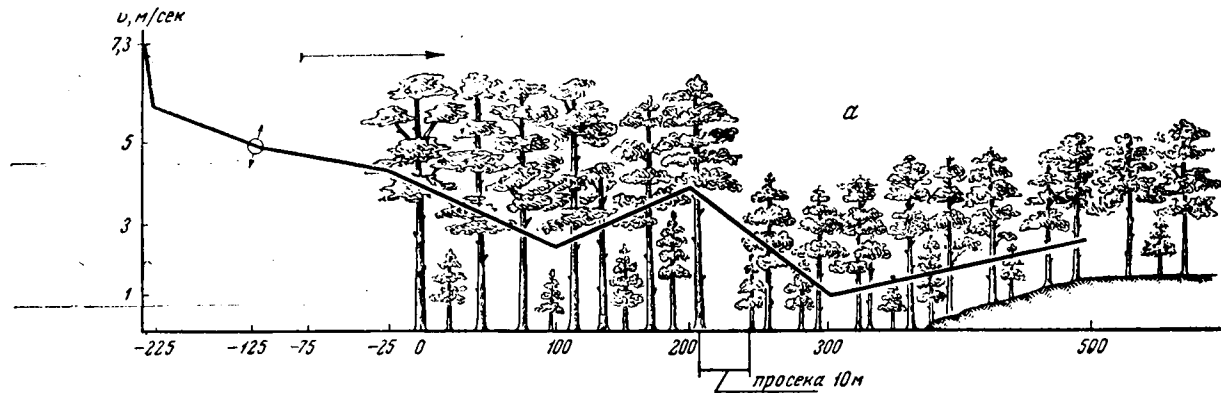


Рис. 2 Скорости ветра перед опушкой и в лесу  
 а — на участке 1 и 2; б — на участке 3 (Погорельский бор)

временно на всех точках при совпадении направления ветра с линией визира в пределах  $\pm 15^\circ$ . Единовременность отсчетов достигалась путем регистрации скорости ветра через определенный промежуток времени, необходимый для выключения анемометра, записи показания счетчика и включения анемометра. Наши наблюдения проводились на всех точках по договоренности наблюдателей с определенного времени через каждые 10 мин. с 3-минутным интервалом, необходимым для записи показаний счетчика.

Результаты наблюдений приведены в табл. 2, из которой видно, что скорость на открытом месте при приближении к лесу значительно снижается. По мере продвижения от опушки в глубь леса скорость ветра продолжает снижаться.

Таблица 2

Изменение абсолютной и относительной скорости ветра перед опушкой и в лесу при скорости свободного ветра 7,3 м/сек

Расстояние, м	Скорость ветра $v$		Расстояние, м	Скорость ветра $v$	
	м/сек	процент от свободного ветра		м/сек	процент от свободного ветра
Перед опушкой			В глубине леса		
125	$6,0 \pm 0,67$	82	100	$2,2 \pm 0,23$	30
75	$5,7 \pm 0,63$	78	200	$3,8 \pm 0,10$	52
25	$5,3 \pm 0,23$	72	300	$1,0 \pm 0,13$	14
			500	$1,3 \pm 0,23$	18

Наши наблюдения за затуханием ветра перед опушкой леса согласуются с наблюдениями Н. С. Нестерова (1908) и В. А. Бодрова (1950), который наблюдал затухание ветра перед лесными полосами. Наблюдения же в лесу резко и принципиально расходятся с данными Н. С. Нестерова, так как затухание ветра не было ни в 100, ни в 200 м от опушки в древостое с высокой полнотой, ни в 500 м в древостое с меньшей полнотой.

Г. Н. Высоцкий (1952) так объясняет этот процесс «...лес тормозит приземные слои воздушного потока. Последние проникают внутрь древостоя и претерпевают здесь трение о его наземные части. Это трение тормозит их. Набегающие сзади новые воздушные потоки наталкиваются на сопротивление последних, вследствие чего воздушный поток замедляется, еще не доходя до опушки леса. По мере проникновения внутрь насаждения, если оно достаточно густо, устанавливается штиль — отсутствие заметного движения воздуха. Воздушные течения проникают в глубь леса тем меньше, чем он гуще и тем далее в глубь леса, чем сильнее ветер».

С этим положением нельзя согласиться, так как оно противоречит обстоятельным исследованиям С. А. Сапожниковой, которая, как указано, объясняет ветер в лесу турбулентностью воздушных потоков над пологом древостоя, и нашим наблюдениям. Значительное же усиление скорости ветра на 200 м можно объяснить влиянием 10-метрового разрыва.

Эти наблюдения могут объяснить наблюдения Ф. Федрунова (1952) за усилением движения скорости фронта пожара перед разрывами. Из его наблюдений следует, что скорость движения огня при подходе к прогалинам и всякого рода искусственным разрывам значительно возрастает примерно в 4—6 раз. Верховой пожар перед разрывом увеличил скорость движения почти в 10 раз и легко перешел 10-метровый разрыв. Наблюдения Ф. Федрунова и наши дают основание ставить под сомнение целесообразность противопожарных разрывов.

Исходя из важности поставленного вопроса о затухании ветра в лесу, мы повторили наши наблюдения в других условиях. В качестве объекта наблюдений был взят однородный сосновый древостой в Погорельском бору близ Красноярска (уч. 3 в табл. 1). Наблюдения за затуханием ветра проведены перед опушкой на расстоянии 25, 75, 125, 225 м и в глубь леса от опушки на расстоянии 50, 150, 250, 350 м. За свободный ветер принималась скорость, регистрируемая анеморубомером, установленным на пожарной вышке в 300 м от начала визира на высоте 30 м над землей и 12 м над верхней границей полога. Наблюдения за затуханием ветра проводились анемометрами

Таблица 3

Изменение абсолютной и относительной скорости ветра перед опушкой и в лесу при скорости свободного ветра 4,5 м/сек

Расстояние, м	Скорость ветра $v$		Расстояние, м	Скорость ветра $v$	
	м/сек	процент от свободного ветра		м/сек	процент от свободного ветра
Перед опушкой			В глубине леса		
225	3,6±0,19	80	50	2,0±0,08	45
125	3,4±0,16	76	150	1,0±0,05	22
75	3,0±0,13	67	250	0,8±0,03	18
25	2,5±0,19	56	350	0,8±0,03	18

Фусса, установленными на высоте 2 м над поверхностью почвы. Результаты наблюдений приведены в табл. 3, которая показывает, что скорость ветра снизилась в 250 м от опушки в лесу до 18%, а далее осталась постоянной. Таким образом, эти на-

блюдения подтвердили ранее полученные данные о затухании ветра в лесу.

Воспользовавшись случаем, мы на этом участке проверили формулу Кайгородова об убывании скорости ветра в лесу. При расчете по этой формуле, она уже в 200 м от опушки в глубине леса равнялась 0,08 м/сек при скорости ветра на вышке 4,5 м/сек.

Если изобразить это графически, отложив по оси  $y$  скорость ветра, а по оси  $x$  расстояние в глубь леса, получается кривая, асимптотически приближающаяся к оси  $x$ . Таким образом, эта формула хорошо передает наблюдения Нестерова и Высоцкого, но изменения скорости ветра в сосновых древостоях не отражает. Ветер проникает в лес, снижает скорость до определенного предела, ниже которого она в данном древостое не падает, благодаря турбулентному обмену.

Для выявления проникновения ветра под полог леса в связи с турбулентностью воздушных потоков над лесом, мы провели визуальные наблюдения в глубине соснового древостоя аналогично участку 3 за направлением движения дыма от шашки ДМ-6, зажженной в 2 м над кронами. Наблюдения проведены в 17 час. местного времени. Скорость ветра регистрировалась анеморумбометром, установленным с наветренной стороны в 3 м от шашки. Скорость ветра в период наблюдения равнялась 5 м/сек. В результате установлено, что облако дыма сразу же входит в кроны, постепенно снижаясь к поверхности почвы. Продвигаясь еще дальше, дым распространяется как и в ранее описанном случае, т. е. в глубь леса и постепенно рассеивается. Эти наблюдения наглядно показали проникновение ветра под полог леса.

Таким образом, ветер в лесу не затухает, так как он проникает в лес не только с опушки, а и сверху, через кроны. Прав был Вайнберг (1884), когда писал «...ветер всегда найдет возможность проникнуть в лес».

### Профиль ветра

Наблюдения за изменением скорости ветра с высотой в лесу были проведены Гайгером, Фонсом и Молчановым. но, как уже упоминалось, при слабых ветрах. Задачей наших наблюдений было выяснить затухание более сильных ветров над пологом леса и их влияние на ветровой режим в лесу. С этой целью в глубине массива, на расстоянии 10 км от берега водохранилища, был выбран сравнительно однородный участок леса (см. рис. 1, объект II уч. 4). Чтобы избежать влияния на скорость ветра прогалин, вырубок и редиц, участок был выбран среди сплошного массива; на расстоянии 500 м от него не покрытых лесом участков не было.



Важная деталь при проведении этих наблюдений — выбор высот над поверхностью почвы для установки приборов и регистрации скорости ветра. В настоящее время одни исследователи наблюдают ветер в древостое без подлеска и подроста. Максимум скорости ветра в этом случае будет в середине расстояния между нижней границей полога и поверхностью почвы. Другие наблюдают ветер в древостое с высоким густым подростом и подлеском. В этом случае максимум скорости будет в середине между нижней границей полога и верхней границей подлеска. Очевидно, что размещение точек для наблюдения должно быть согласовано со строением древостоя. Это подтверждается работой В. П. Молчанова. Если проанализировать его наблюдения, получается следующая картина. В чистом сосновом древостое без подлеска и подроста — максимум скорости ветра приходился на высоту 2 м. В древостое с густым подростом и подлеском этот максимум поднимается к началу основного полога, а в двухъярусном древостое с подлеском максимум скорости находится в середине полога 1 яруса. Таким образом, от правильности выбора точек наблюдения зависит правильность выявления профиля ветра в том или ином древостое. Кроме того, для сопоставления результатов наблюдения необходимо придерживаться совершенно определенных относительных высот, в которых будет либо убывание, либо усиление скорости ветра.

На наш взгляд, наблюдения нужно всегда проводить в середине древесного полога. Здесь будет наименьшая скорость ветра. В древостоях без подроста и подлеска — на середине расстояния между нижней границей древесного полога и напочвенным покровом скорость ветра будет максимальной. Обязательной точкой является также 2-метровая стандартная высота, необходимая для сопоставления с данными метеостанции. Наконец, желательны наблюдения непосредственно над напочвенным покровом. Но наименьшее значение этой высоты будет зависеть от высоты применяемого прибора. В нашем случае оно равнялось 20 см.

Скорость ветра замерялась анеморумбометрами М-47 одновременно в 5 точках. Анеморумбометры устанавливались на мачтах в шахматном порядке с промежутками 3—4 м во избежание влияния друг на друга. Один прибор был помещен на пожарной наблюдательной вышке на высоте 32 м над поверхностью почвы; второй — в середине древесного полога на высоте 14 м; третий — между нижней границей полога и поверхностью почвы на высоте 7 м; четвертый — на стандартной высоте 2 м; пятый — над напочвенным покровом на высоте 0.2 м. Регистрирующие части приборов были сосредоточены в одном месте, что позволило вести наблюдения одновременно на всех точках. За свободный ветер принималась скорость ветра, регистрируемая анеморумбометром, установленным на вышке. Вышка была рас-

Изменение профиля средней скорости ветра в лесу в зависимости от скорости свободного ветра

Общие показатели	Высота над землей, м					
	32 свободный вет- тер. 11 м над пологом	23 2 м над пологом	14 середица полога	7 середица меж- ду нижней границей поло- га и почвой	2 стандартная высота	0,2 над напочвен- ным покровом
Средняя скорость ветра, м/сек (из 79 наблюдений)	4,1±0,10	3,0	0,5±0,04	0,3±0,04	0,6±0,05	0,3±0,04
Относительная скорость ветра, %	100	72,5	12,2	7,3	14,0	7,3
Средняя скорость ветра, м/сек (из 94 наблюдений)	8,3±0,17	6,1	1,0±0,05	0,7±0,06	1,2±0,05	0,6±0,04
Относительная скорость ветра, %	100	73,2	12,0	8,4	14,5	7,2
Средняя скорость ветра, м/сек (из 96 наблюдений)	13,6±0,13	10,1	1,3±0,06	1,0±0,05	1,4±0,06	0,6±0,04
Относительная скорость ветра, %	100	74,0	9,5	7,4	10,3	4,4
Средняя скорость ветра, м/сек (из 68 наблюдений)	17,5±0,18	12,9	1,5±0,07	1,2±0,06	1,6±0,07	0,8±0,04
Относительная скорость ветра, %	100	73,8	8,6	6,8	9,2	4,6
Средняя скорость ветра, м/сек (из 22 наблюдений)	25,0±0,06	18,5	2,6±0,19	1,8±0,14	2,1±0,19	1,2±0,12
Относительная скорость ветра, %	100	74,0	10,4	7,2	8,4	4,8
Средняя скорость ветра, м/сек (из 4 наблюдений)	34,0±0,06	25,0	3,4±0,17	2,2±0,21	3,7±0,37	1,7±0,12
Относительная скорость ветра, %	100	73,5	10,0	6,5	10,0	5,0

положена в 50 м от места установки остальных приборов. Показания анеморумбометра делились на градации применительно к шкале Бофорта: 2,1—5; 5,1—10; 10,1—15; 15,1—20; 20,1—25; 25 и более. Скорость ветра до 2 м не учитывалась, так как при таких скоростях свободного ветра под пологом леса полный штиль. Все скорости, относящиеся к одной градации, суммировались. Затем, для каждой высоты в пределах одной градации по скорости вычислялась средняя скорость ветра, среднеквадратическое отклонение и ошибка среднего результата вычислений (по Митропольскому). Скорости ветра на разных высотах в относительном выражении приведены в табл. 4. При вычислении относительной скорости за 100% принята скорость на высоте 10 м над пологом леса (скорость свободного ветра), по которой определялись относительные скорости на всех высотах.

Число наблюдений за скоростью ветра изменяется в пределах от 22 до 94. Исключение составляет скорость ветра более 30 м/сек. В этом случае было 4 наблюдения. Поэтому каких-либо выводов для этой скорости делать нельзя. Мы их все же приводим, так как в литературе никаких данных относительно таких скоростей нет. Число наблюдений для остальных скоростей вполне достаточное.

Скорости ветра на высоте 2 м над пологом леса мы не замеряли. В табл. 4 для этой высоты приведена скорость ветра, вычисленная по формуле Д. Л. Лайхтмана (1944).

Как видно из табл. 4, наблюдения проводились при скорости свободного ветра до 34 м/сек. При всех скоростях в наших наблюдениях максимум скорости ветра находился примерно на высоте 2 м, а минимум на высоте 7 и 0,2 м над поверхностью почвы. Это согласуется со строением древостоя. В данном случае древостой был без подлеска, а нижняя часть крон у тонкомера находилась на высоте не ниже 3 м над поверхностью почвы. Поэтому на высоте 2 м скорость ветра и была значительно выше, чем в других точках, так как стволы деревьев менее препятствуют ветру, чем кроны.

Ошибка вычисленных средних скоростей очень небольшая. На основании данных о варьировании скоростей ветра в одной точке профиля, при одной и той же скорости свободного ветра, можно заключить, что в таких исследованиях вполне достаточно 30—40 наблюдений.

По данным табл. 4 в дальнейшем были построены кривые изменения скорости ветра с высотой (рис. 3). Анализируя характер кривых, мы пришли к выводу о возможности аналитического выражения профиля ветра в сосновом лесу в зависимости от скорости свободного ветра. При этом имелось в виду, что единое аналитическое выражение этой зависимости даст нам возможность рассчитывать скорость ветра на любом

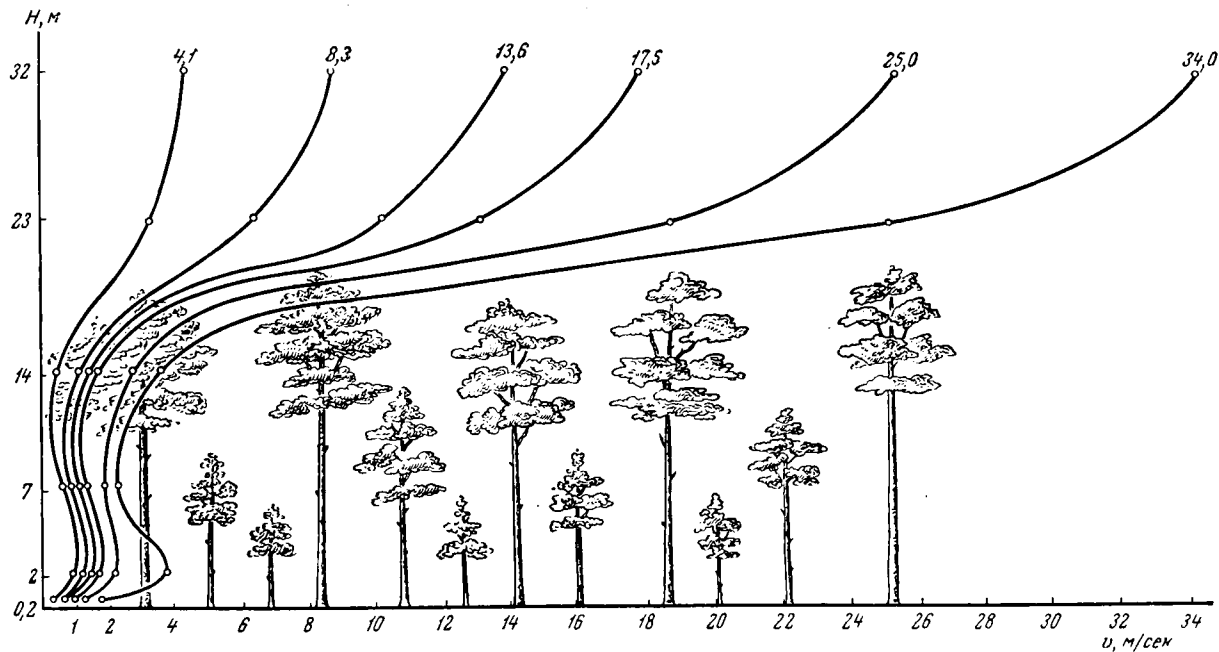


Рис. 3. Зависимость изменения профиля ветра в лесу от скорости свободного ветра

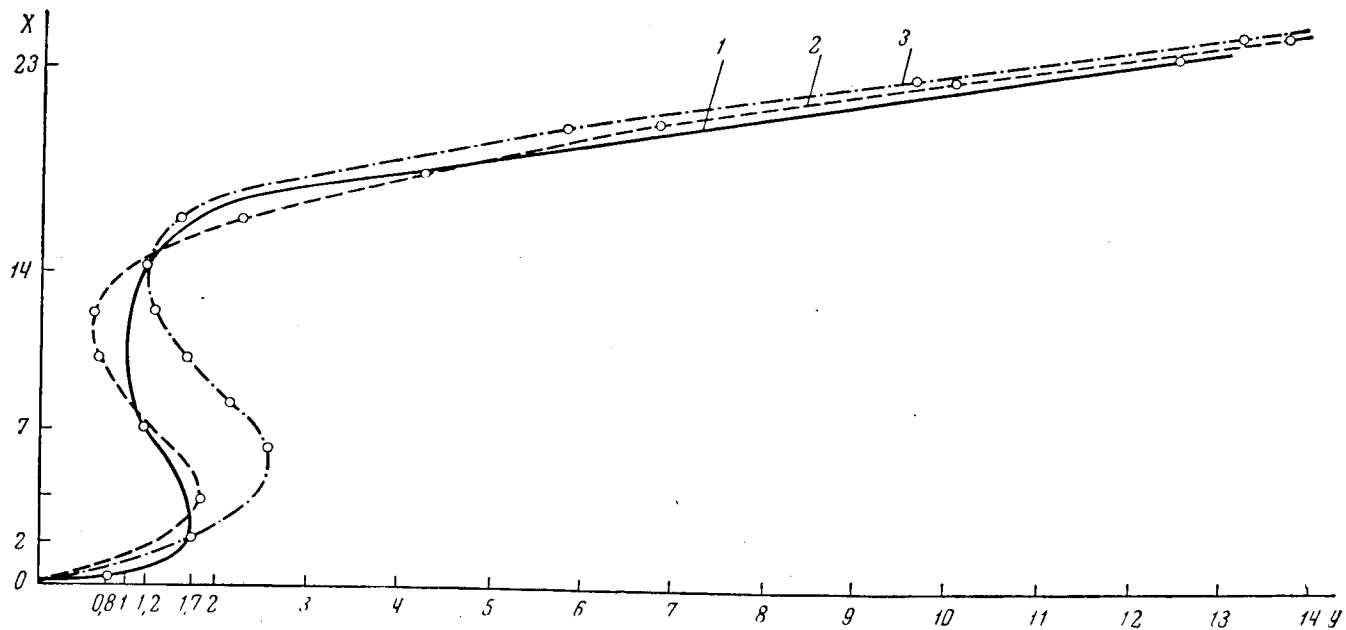


Рис. 4. Обобщенные профили ветра в лесу

1 — построенный по данным наблюдений; 2 — рассчитанный по формуле параболы четвертого порядка; 3 — рассчитанный по формуле параболы третьего порядка

расстоянии от поверхности почвы в лесу по скорости ветра на метеорологической станции. Из шести кривых профиля ветра путем усреднения мы построили одну обобщенную кривую (рис. 4). При этом по оси  $x$  мы отложили высоты над поверхностью почвы, а по оси  $y$  — скорости ветра на этих высотах. С целью получения аналитического выражения связи мы рассчитали способ наименьших квадратов уравнение 4-го порядка по 12 равноотстоящим точкам, взятым с кривой. При этом получено следующее выражение:

$$y = 2,2173 \frac{x}{2} - 0,82710 \left(\frac{x}{2}\right)^2 + 0,09682 \left(\frac{x}{2}\right)^3 - 0,00294 \left(\frac{x}{2}\right)^4. \quad (1)$$

В уравнении независимая переменная принята как  $\frac{x}{2}$  для упрощения вычислений. Исходные данные и результаты расчета по формуле приведены в табл. 5, а соответствующие

Таблица 5

Сопоставление результатов расчета скорости ветра по уравнению (1) с исходными данными скорости свободного ветра, равной 12,6 м/сек

Высота над поверхностью почвы $x$ , м	Средняя скорость ветра по кривой, м/сек	Скорость ветра, вычисленная по формуле (1), м/сек	Отклонение вычисленной скорости от исходной, м/сек	Высота над поверхностью почвы $x$ , м	Средняя скорость ветра по кривой, м/сек	Скорость ветра, вычисленная по формуле (1), м/сек	Отклонение вычисленной скорости от исходной, м/сек
0,0	0	0	0	12,0	1,0	0,6	0,4
0,2	0,3	0,2	0,1	14,0	1,2	1,1	0,1
2,0	1,7	1,5	0,2	16,0	1,7	2,3	0,6
4,0	1,5	1,9	0,4	18,0	3,8	4,3	0,5
6,0	1,4	1,5	0,1	20,0	7,3	6,9	0,4
8,0	1,1	1,1	0,0	22,0	10,7	10,1	0,6
10,0	1,0	0,7	0,3	23,0	12,6	11,8	0,8

им кривые — на рис. 4. Полученное уравнение дает плавную кривую с точками, близкими к исходным. Но она позволяет вычислить скорости ветра под пологом леса лишь при скорости свободного ветра 126 м/сек, т. е. при той расчетной скорости, которая получена в результате усреднения первоначальных кривых. Для расчета же профиля по другим скоростям свободного ветра необходимо вводить поправки. Анализ материала дал возможность выразить изменяющуюся поправку в зависимости только от скорости ветра на 2 м выше полога уравнением прямой:

$$z = 0,076v + 0,0627, \quad (2)$$

где  $z$  — поправочный коэффициент;  $v$  — скорость ветра на 2 м выше полога.

При таком выражении поправки общее уравнение профиля ветра примет вид

$$y = \left[ 2,2173 \frac{x}{2} - 0,82710 \left( \frac{x}{2} \right)^2 + 0,09682 \left( \frac{x}{2} \right)^3 - 0,00294 \left( \frac{x}{2} \right)^4 \right] (0,076v + 0,0627). \quad (3)$$

Среднеквадратические отклонения скорости ветра, вычисленной по формуле (3), даны в табл. 6. Из нее видно, что откло-

Таблица 6  
Среднеквадратические отклонения скоростей ветра, вычисленных по уравнению (3), от средних из измеренных скоростей

Скорость ветра, м/сек	Отклонение вычисленной скорости ветра от исходной	Скорость ветра, м/сек	Отклонение вычисленной скорости ветра от исходной
3,0	0,26	12,6	0,44
6,1	0,26	18,5	0,70
10,0	0,28	25,0	1,0

нения незначительные и расчеты по формуле для практики вполне приемлемы. Для сравнительной оценки полученной формулы мы рассчитали профиль ветра по данным Гайгера для древостоя высотой 16 м, и по данным Фонса для древостоя высотой 23 м. Вычисленные и исходные данные приведены в табл. 7. Она

Таблица 7  
Сравнительная оценка вычисленной скорости ветра, по данным наблюдений Гайгера (1939) и Фонса (1940)

Ветер	Абсолютная высота, м	Скорость ветра, м		Абсолютная высота, м	Скорость ветра, м	
		по данным Гайгера	вычисленная		по данным Фонса	вычисленная
Свободный . . . . .	—	—	—	43*	6,7	6,7
2 м над кронами	17	1,6	1,6	—	—	—
На середине полога . . . . .	10,5	0,69	0,1	9,1	0,71	0,46
Над поверхностью почвы . . . . .	1,1	0,60	0,2	0,76	1,12	0,42

\* На высоте 20 м над кронами.

показывает, что вычисленные данные близки к исходным при высоте древостоя 23 м. На середине полога расхождения значительнее. Полученная формула пригодна для расчета профиля ветра лишь в древостоях высотой около  $21 \pm 2$  м.

В дальнейшем необходимо перейти к выражению высоты древостоя в относительных величинах, что позволит применять формулу для расчета профиля ветра в древостоях любой высоты.

### Влияние повышений в мезорельефе

Наблюдения за изменением скорости ветра в лесу под дополнительным влиянием рельефа были проведены на пятом и шестом участках (см. рис. 1, объект III и табл. 1) одновременно в трех пунктах: подножье склона, вершина и противоположный склон увала. Превышение увала над местностью равно 12 м. Расстояние от пункта наблюдения у подножья склона до пункта на противоположном склоне составляло 300 м. Наблюдения в каждом пункте были проведены на высоте 0,2; 2,0; 12,0 и 20 м от поверхности почвы. Скорость в этом случае измерялась анемометрами Фусса с 10-минутной экспозицией. За свободный ветер принимали, как и при ранее описанных наблюдениях, скорость его на высоте 10 м над кронами. Из полученных данных были выведены средние (табл. 8).

Таблица 8

Средняя скорость ветра на элементах мезорельефа

Высота над поверхностью почвы, м	Первый пункт (подножье склона)	Второй пункт (вершина)	Третий пункт (противоположный склон)
30 (10 м над кронами)	$5,3 \pm 0,18$	$5,3 \pm 0,18$	$5,3 \pm 0,18$
20 (2 м над кронами)	$1,6 \pm 0,11$	$3,2 \pm 0,24$	$2,5 \pm 0,22$
12 (середина крон)	$0,7 \pm 0,05$	$0,6 \pm 0,10$	$0,6 \pm 0,08$
2	$0,5 \pm 0,24$	$1,0 \pm 0,14$	$0,4 \pm 0,05$
0,2 (над напочвенным покровом)	$0,2 \pm 0,08$	$0,6 \pm 0,10$	$0,4 \pm 0,07$

Как показывает табл. 8, наблюдения проводились при средней скорости свободного ветра 5 м/сек. Максимальная скорость на всех точках была на вершине увала. Минимальные же получены на склонах увала. Эти изменения скорости ветра по высоте не равномерны. У подножья склона скорость ветра на высоте 2 м над кронами значительно ниже, чем на участке противо-



ложного склона. Под пологом леса скорости ветра в первом и третьем пунктах во всех точках очень близки между собой. Однако из анализа основных ошибок средних скоростей ветра следует, что эти различия в большинстве случаев находятся в пределах точности измерений и вычислений.

### Выводы

1. Ветер перед опушкой соснового леса высотой 18 м на высоте 2 м от поверхности почвы теряет скорость с расстояния около 200 м. На расстоянии 25 м перед опушкой скорость ветра равна примерно 60% от скорости свободного ветра. Эта величина варьирует в зависимости от скорости свободного ветра.

2. По мере проникновения в сосновый древостой, ветер на высоте 2 м от поверхности земли скорость постепенно теряет. Ветер скоростью 4,5 м/сек проникает до 250 м. С этого расстояния в сосновых древостоях наблюдается незатухающий ветер постоянной скорости, который возникает вследствие турбулентности воздушного потока над пологом. Струи ветра проникают под полог и, трансформируясь, образуют горизонтальный поток.

3. Положение Н. С. Нестерова и Г. Н. Высоцкого о затухании ветра применительно к средневозрастным сосновым древостоям полнотой от 0,5 до 1,0 правильно отражает явление лишь при скорости ветра не более 2 м/сек. Уравнение затухания ветра в лесу Кайгородова также не применимо к затуханию ветра в сосняках скоростью больше 2 м/сек.

4. Перед разрывами и прогалинами в лесу наблюдается повышение скорости ветра, что согласуется с наблюдениями Федрунова об ускорении движения фронта верхового пожара в этих случаях.

5. Под пологом древостоя струи ветра устремляются по направлению наименьшего сопротивления. Поэтому в лесу формируется профиль ветра сложной конфигурации. В простейшем случае, когда сосновый древостой одноярусный, без подроста и подлеска, профиль ветра под пологом имеет один максимум, приходящийся на середину расстояния между нижней границей полога и напочвенным покровом. В пологе леса наблюдается некоторое понижение скорости ветра, а у поверхности земли постепенное затухание. Такой профиль ветра может быть приближенно выражен уравнением параболы четвертого порядка.

6. Чем выше скорость ветра над кронами, тем большее относительное замедление он претерпевает в древостоях. Общий характер профиля ветра при этом сохраняется. Это позволяет дать общее математическое выражение профиля ветра, в зависимости от скорости его над пологом леса.

При дальнейших исследованиях очень важно провести наблюдения в древостоях с разной высотой и полнотой, а также

выяснить влияние подроста и подлеска. Такое изучение ветра будет содействовать более глубокому пониманию развития пожаров.

### Л и т е р а т у р а

- Алисов Б. П. и др. Курс климатологии, ч. I и II. Гидрометеониздат, 1952.
- Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1958.
- Бодров В. А. Лесоводственный метод борьбы с засухой. М., 1950.
- Вайнберг Я. Лес. Его значение в природе и меры к сохранению. М., 1884.
- Випнер В. Н. Влияние травяно-кустарничкового покрова и подстилки на микроклимат и почву в лесах Забайкалья.— Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1962, т. 54.
- Волошина А. Н. Микроклиматические исследования в горных лесах Забайкалья.— Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1962, т. 54.
- Вонский С. М. Интенсивность огня лесных пожаров в различных типах леса.— Лесное хозяйство, 1957, № 5.
- Высоцкий Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. Изд. 2. Гослесбумиздат, 1952.
- Гайгер Р. Климат приземного слоя воздуха. Перев. с нем. под ред. С. И. Нельсона. Сельхозгиз, 1939.
- Егоров Н. Н. Тушение повалных пожаров встречным огнем.— Лесное хозяйство, 1954, № 6.
- Жикин А. К. Лесные пожары на Урале.— Лесное хозяйство, 1939, № 8.
- Иванов Л. А. О влиянии ветра на рост дерева.— Ботанический журнал СССР, 1934, т. 19, № 3.
- Курбатский Н. П. Локализация сильных лесных пожаров встречным низовым огнем.— Лесное хозяйство, 1955, № 3.
- Курбатский Н. П. Причины изменения интенсивности лесных пожаров в течение суток.— Лесное хозяйство, 1960, № 4.
- Левиз А. Испытанный способ тушить лесные пожары.— Лесной журнал, 1833, ч. 1, кн. 2.
- Лайхтман Д. Л. Профиль ветра и обмен в приземном слое атмосферы.— Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофизики, 1944, № 1.
- Мелехов И. С. Опыт изучения пожаров в лесах Севера. Архангельск. Изд-во АЛТИ, 1939.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельское изд-во, 1947.
- Молчанов А. А. Скорость распространения лесных пожаров в зависимости от метеорологических условий и характера древостоя. Лесное хозяйство, 1940, № 6.
- Молчанов А. А. Лес и климат. Изд-во Акад. наук СССР, 1961.
- Молчанов В. П. О вертикальном распределении скорости ветра в сосновых насаждениях в связи с изучением лесных пожаров.— Сб. работ по лесному хозяйству, 1960, вып. 4.
- Нестеров Н. С. О влиянии леса на силу и направление ветра.— Тр. Московского лесного об-ва, 1908.
- Нестеров В. Г. Уроки Кирсинского пожара.— Лесное хозяйство, 1939, № 4.
- Нестеров В. Г. Общее лесоводство. Гослесбумиздат, 1949.
- Ожогин И. М. Связь между влажностью воздуха и лесными пожарами.— Лесное хозяйство, 1939, № 8.
- Ситнов М. В. О связи между горимостью лесов и факторами гигрометрического состояния воздуха.— Тр. по лесному делу Уральской области, 1930, вып. 1.
- Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеониздат, 1950.
- Серебрянников П. П. и Матренинский В. В. Лесные пожары и борьба с ними. Гослестехиздат, 1937.

- Ткаченко М. Е., Асосков А. И., Синев В. Н. Общее лесоводство, Гослестехиздат, 1939.
- Тимофеев В. П. и Дылис И. В. Лесоводство, Сельхозгиз, 1953.
- Федрунов В. Изучение скорости распространения верховых пожаров.— Лесное хозяйство, 1952, № 4.
- Червяков П. Д. Климатические условия района произрастания жорновских дубрав и создаваемый ими микроклимат.— Сб. науч. работ по лесному хозяйству БелНИИЛХ, 1958, вып. 12.
- Эйтинген Г. Р. Лесоводство, Сельхозгиз, 1949.
- Бургам Г. М., Дэйвис К. Р., Крюмм. Forest fire, control and use. Mc Graw-Hill Book Com. New-York, Toronto, London, 1959.
- Fons W. L. Influence of forest cover on wind velocity.— J. Forestry, 1940, N 6.
- Katsure Inoue. Study on outbreak and spread of forest fires in Japan (Fifth World Forestry Congress). Seattle (USA), 1960.
- Reifsnyder W. E. Weather and fire control practices (Fifth World Forestry Congress). Seattle (USA), 1960.
- Whittingham H. E. The behavior of the sea breeze in the forest areas of south-east Queensland. Preceedings of the fire weather conference. Melbourne, 1958.
- Robin A. G., Wilson G. F. The effect of meteorological conditions on major fires in the Riverina New South Wales) district. (Proceedings of the fire weather conference). Melbourne, 1958.

---

---

## ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ И СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

В последние годы внимание многих зарубежных исследователей привлечено к выявлению связи между состояниями атмосферы и поведением лесных пожаров. Состояние атмосферы в данное время — погода, а также суточные и периодические изменения состояния атмосферы определяют характер действия лесного пожара в каждый конкретный момент суток, суточный цикл его развития и повторяемость циклического развития в течение однородных по состоянию атмосферы периодов (естественных синоптических периодов).

«Поведение лесного пожара» — широкое понятие, включающее в себя как развитие пожара, так и его распространение. «Развитие лесного пожара» в нашем понимании является качественной характеристикой, обусловливаемой изменением процесса горения, а распространение лесного пожара — количественной характеристикой продвижения горения по лесной территории.

Вопрос поведения лесных пожаров дискутировался на совещании по пожароопасной погоде в Мельбурне (1958), на конференции в Сан-Франциско (1958), V Всемирном конгрессе лесоводов (1961) и др. Исторически повышение интереса к поведению лесных пожаров не случайно. В многолесных промышленно развитых странах таких, как США, Канада, в годы после второй мировой войны усилилась охрана лесов от пожаров, которая в США признана очень важной проблемой лесного хозяйства. Вовлечение в охрану ранее не охраняемых территорий, строительство вышек, применение авиационных средств первоначально предъявляли требования к разработке критериев для суждения о возможности возникновения пожаров в тех или иных местах при различных состояниях атмосферы. Работы в этом направлении, начатые в 30-е годы, интенсивно продолжались в 40—50-е годы и привели к разработке многочисленных систем определения пожарной опасности, которые в достаточной степени удовлетворяют практику предсказания и обнаружения пожаров.

Развитие системы обнаружения позволило значительно сократить горимость при обычных погодных условиях, но при

некоторых «критических» состояниях атмосферы и горючих материалов пожары уходят из-под контроля и охватывают чрезвычайно большие площади. По данным Б. С. Барроуса, приводимым в книге К. П. Дэвиса (1959), на долю не менее 1% пожаров площадью свыше 120 га приходится 98% выгоревшей площади. Годы успешной охраны могут быть сведены к нулю одним большим пожаром.

Проблема предсказания, как в конкретных условиях будет действовать возникший пожар, остро встала перед практиками борьбы с лесными пожарами в США, Канаде и Австралии. В поисках решения этой проблемы ряд исследователей, в первую очередь американских, направили свои усилия на приложение достижений науки в изучении физики атмосферы к объяснению поведения лесных пожаров.

Подобная проблема актуальна и для Советского Союза — самой богатой лесами державы мира. Некоторые закономерности развития лесных пожаров, обуславливаемые географией лесов и типами леса, изучены отечественными лесоводами (Мелехов, 1946, 1947; Молчанов, 1940; Нестеров, 1939, 1949; Корчагин, 1954; Курбатский, 1954, 1962) и метеорологами (Г. Я. Вангенгейм, 1939). Но систематических исследований поведения пожаров в зависимости от состояния атмосферы в наших условиях не проводилось. Поэтому мы считаем необходимым систематизировать и проанализировать современное представление этого вопроса, а также выявить, что из результатов зарубежных исследований можно использовать в практике охраны в наших условиях, что необходимо уточнить и какие исследования надо продолжить.

### Критические пожарные ситуации

Сильные лесные пожары происходят в период засух и при сильных ветрах. Вспомним описания бедствия при пожарах в штате Мэн (США) осенью 1947 г. При сильных ветрах 21—23 октября после продолжительной осенней засухи выгорело 90 тыс. га лесов, сенокосов и пастбищ. Раздуваемые ветром большой силы пожары проходили через насаждения сосны по кронам и даже не спускались вниз, чтобы образовать низовой пожар. В иных случаях верховой пожар двигался за сотни метров впереди низового. В других местах пожар проносился так быстро, что гумус прогорел только на 2 см. В море на расстоянии 800 м от берега сильно облесенный остров выгорел подобно вспыхнувшему факелу.

Многочисленные описания подобного рода приводятся в «Лесопромышленном вестнике». В. Г. Нестеров (1939) наблюдал распространение Кирсинского пожара при ветре 17 м/сек. Высота пламени достигала 50 м, перенос горящих головней

происходил на 0,5—1 км через крупные реки, в результате чего возникли очаги низового пожара.

Исследователей стал интересовать вопрос, в какой степени засуха, определяющая сухость материала, и ветер влияют на силу пожаров по отдельности и чем вызываются их наиболее опасные сочетания.

А. А. Молчанов (1940) специально задался целью установить скорость распространения пожаров в зависимости от метеорологических условий, проведя 208 наблюдений на 25 пожарах. Из его данных видно, что скорость распространения лесных пожаров сильно зависит не только от скорости ветра, но и от количества сгорающих горючих материалов. Позже Г. М. Байрам (Вугат, 1957) предложил различать «наличные горючие материалы» — суммарное количество горючих материалов на единицу площади в лесу и «доступные горючие материалы» — те, которые могут гореть при данных условиях. По наблюдениям А. А. Молчанова большое количество наличных горючих материалов — захламленность вырубок — увеличивало скорость распространения пожаров в 2 раза и более. Зависимости этого рода до настоящего времени изучены слабо.

Впервые наиболее опасное сочетание причин появления сильных пожаров пытался объяснить Р. Гайгер в 1948 г. Судя по работе Г. Л. Векка (Weck, 1950), Гайгер считает критическим состоянием для Германии такое, при котором во время длительной засухи за четыре дня перед появлением больших пожаров общая температура заметно повышается, и при том максимальная температура раньше и сильнее, чем минимальная. Влажность воздуха также начинает опускаться примерно за 4 дня перед пожарами. Пожарный день сам по себе, как правило, без осадков. Давление воздуха увеличивается максимум за два дня перед пожаром. Скорость ветра усиливается в день пожара и составляет не менее 6 м/сек. Соответственно этому в дни с большими пожарами преобладают восточные и юго-восточные ветры, которые приносят сушь и тепло.

Близкие к выводам Гайгера результаты сопоставления статистических данных о лесных пожарах с типами погоды получены Г. Я. Вангенгеймом (1939) для Европейского Севера и М. В. Гриценко для Европейской территории СССР. Вангенгейм связывает массовую вспышку пожаров с поступлением сухих воздушных масс (континентальный арктический воздух — континентальный полярный воздух — континентальный тропический воздух), а Гриценко — с длительными стационарными антициклонами на высотах и полями высокого давления у поверхности земли. Но статистических данных оказалось недостаточно для четкого установления причин наиболее сильного распространения пожаров.

Выводы Гайгера подтверждаются наблюдениями лесничего П. Г. Ильенкова (1939) в Кировской области и нашим анализом пожаров в Гайнском районе Пермской области. В 1959 г. мы нашли, что наиболее страшные верховые пожары имеют тенденцию возникать в конце засушливых периодов при сильном южном и юго-западном ветре на западной и северо-западной периферии антициклона. Возможна даже связь таких сильных ветров у поверхности земли со струйными потоками на больших высотах, возникающими во фронтальных поверхностях, на что указывает В. Шефер (Schaeffer, 1957).

Уже из упомянутых выше работ, особенно при сопоставлении исследований лесоводов и метеорологов, можно представить картину создания критических пожарных ситуаций. С установлением антициклона начинается постепенное высыхание горючих материалов в лесу, в конце засухи при смене воздушных масс наблюдаются наиболее сильные ветры, приводящие к наиболее разрушительным пожарам. Такая картина справедлива с учетом следующих трех важных факторов.

Во-первых, понятие «засуха» относительно. Мы употребляем его, когда имеем в виду, что в таежной зоне горючие материалы в лесу представляют опасность сильного развития пожаров только в течение ограниченных периодов, преимущественно совпадающих с антициклонами. По мере продвижения на юг климат становится теплее, и в низких широтах сухость горючих материалов, естественно, выше. Поэтому там сильные пожары могут происходить не только при установлении антициклонов, но и при других типах погод. На такое явление указывает В. Р. Крум (Davis, 1959) относительно США и Г. Е. Виттенгейм (Whittingham, 1958) в отношении Австралии.

Во-вторых, и в наших широтах имеются лесные территории с горючими материалами, на способность которых к загоранию состояние атмосферы оказывает значительное влияние. Лесные площади с покровом из сухой травы (вырубки, старые гари) и некоторые травяные типы леса, а также участки с большим количеством мертвой древесины (например, усохшие от повреждений насекомыми) способны гореть сразу после схода снегового покрова. Наличие таких площадей обуславливает весеннюю вспышку пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке, очевидно, более тесно связанную с вегетационными состояниями почвенного покрова, чем с состоянием атмосферы.

В-третьих, способность лесных пожаров к саморазвитию при достаточной сухости горючих материалов ведет к повышению их скорости распространения за счет образования очагов от переноса горящих частиц. В данном случае скорость распространения пожара будет определяться не скоростью продвижения фронта, а дальностью переноса горящих материалов, количеством и скоростью горения в новых очагах перед фронтом главного

пожара. Подобный характер распространения определенным образом связан с вертикальной структурой атмосферы.

Приведенные факты расширили круг рассматриваемых вопросов и потребовали дальнейшей оценки критических пожарных ситуаций с учетом многообразия определяющих их причин.

Работа американцев Р. К. Арнольда и С. С. Бака (Arnold and Buck, 1954), проблематично названная: «Взрывные пожары — проблема лесоводства или погоды?» (Blowup fires — silviculture or weater problems?) открыла дискуссию при оценке критических пожарных ситуаций. Термин «взрывные пожары» (blowup fires) применяется американцами, по-видимому, с начала 50-х годов для обозначения сильных лесных пожаров, образующих мощную конвекционную колонку (столб дыма). Уже более 100 лет назад А. Левиз (1833) описал процесс усиления пожара с момента образования конвекционной колонки, поэтому смысл явления не нов. Но американцы связывают усиление пожара не только с характером его развития, но и с определенными мерами его тушения. Первоначально «взрывной пожар» обозначал также, что для его тушения недостаточно сил одной лесной охраны. С 1958 г. для выделения пожаров, требующих особых мер по организации тушения, введен термин «проектный пожар» (project fire), т. е. требующий разработки проекта для тушения, а термин «взрывной пожар» продолжает использоваться для акцентирования внимания на связи пожара с вертикальным профилем ветра.

Взгляды Арнольда и Бака сводятся к следующему. Лесоводственными методами можно влиять на вид, количество, вертикальное и горизонтальное распределение живых и мертвых горючих материалов в лесу. Поскольку пожары зависят от размера, формы расположения и характера горючих материалов в лесу, можно рассматривать их как лесоводственную проблему. Когда же пожар начался и достиг определенного уровня развития, форма и расположение горючих материалов могут утрачивать свое значение, а более важными оказываются влажность горючего и состояние атмосферы. Переход от слабого горения к сильному происходит резко, скачком («взрывом») и служит причиной превращения маленьких пожаров в большие.

Арнольд и Бак выделяют четыре категории причин, ведущих к быстрому и бурному развитию.

К первой категории они относят причины, связанные с процессом воспламенения и горения, а именно: «огненная буря» или «воспламенение площади» за счет слияния тепла нескольких рассеянных по площади очагов; «уступный огонь» — вторичное горение на площади, пройденной слабым пожаром, на которой осталось большое количество несгоревших горючих материалов; загорание крон лиственных насаждений, подсушенных низовым



пожаром; пожарный вихрь, образующийся при сближении двух стней, часто при неправильном применении отжига.

Вторая категория причин связана с усилением пожаров, вызываемых атмосферными условиями: рассеяние ночной инверсии или пробивание конвекционной колонкой слабой инверсии приводит к усилению процесса газообмена на пожаре и быстрому росту пожара; горение в теплом воздухе вблизи масс холодного воздуха ведет к образованию пожарных вихрей, причем теплый воздух устремляется вверх, а холодный подтекает с боков; аккумулятивное горючих газов близ почвы при низких инверсиях или в плохо проветриваемых котловинах может привести к вспышке пламени на значительной площади; постоянно дующий конвекционный ветер, вызываемый опусканием холодного сухого воздуха, способствует сохранению тепла, рожденного пожаром в нижнем слое, и распространению пожара по направлению ветра; попадание пожара в ячейку с вертикальной циркуляцией вызывает быстрый рост конвекционной колонки и горизонтальные ураганные ветры у поверхности земли.

Третья категория причин связывается авторами с рельефом: пожар в горных условиях может усиливаться на вершине хребта и в ночное время, вследствие более сильного ветра; пожар на одном из двух склонов, обращенных друг к другу, может выделить достаточно тепла для воспламенения противоположного склона.

В четвертую категорию причин выделено состояние поверхности горения, представляющее комбинацию горючего, погоды и рельефа в критических пропорциях. Незначительное изменение одного из факторов, например, переход от закрытого к открытому горению (в менее сомкнутое насаждение), может привести к «взрыву».

Они не приводят фактических данных, подтверждающих их теоретические предположения. Многие из приводимых ими причин носят характер крайне редких и едва ли практически наблюдаемых явлений. Сюда относятся «уступный огонь», загорание крон лиственных, аккумулятивное горючих газов, пожары на противоположных склонах.

Некоторые причины, мы полагаем, полезно изучить в наших условиях с целью выявления их повторяемости и значения. К ним относятся: «воспламенение площади», наблюдающееся при возобновлении пожаров и при сильных пожарах от переноса горящих частиц; пожарные вихри; горение близ масс холодного воздуха; усиление пожара в горах на вершинах водоразделов.

Особенного внимания заслуживает изучение влияния инверсий, конвекции и турбулентности в атмосфере на развитие и распространение лесных пожаров.

## Теоретическая модель пожара

Более последовательно излагает свои взгляды на поведение лесных пожаров американский физик Г. М. Байрам, длительное время работающий над решением лесопожарных проблем. Он стремится объяснить процесс развития лесных пожаров изменением энергетических параметров. По мнению Г. М. Байрама (Вугат, 1954), большой пожар аналогичен тепловому двигателю. Существенной частью этого пожарного теплового двигателя является конвекционная колонка над пожаром. Вероятность создания пожаром конвекционной колонки и перехода во взрывной быстро возрастает по мере возрастания его размера. При запасе горючего от 10 до 30 т на 1 га этот критический размер может быть достигнут при 16—24 га. При обилии горючего размер будет меньше. Критическая площадь для медленно распространяющегося пожара будет больше, чем для быстро распространяющегося, потому что скорость производства энергии, а не действительный размер определяют вероятность «взрыва».

Байрам исследовал более ста профилей ветра в непосредственной близости от пожаров и пришел к выводу, что вертикальный профиль ветра и устойчивость атмосферы влияют на развитие пожаров. Снижение скорости ветра с высотой дает возможность пожару создавать его трубы или конвекционные колонки. Как только начался рост этой колонки, возникает процесс трансформации тепловой энергии в кинетическую, которая не может выравняться, пока колонка не достигнет высоты в несколько сотен метров. При сильных пожарах колонки достигают 7,5 км и более, причем горящие угольки поднимаются на высоту до 1200 м.

Г. М. Байрам (Вугат, 1957) нарочито делит все лесные пожары на «тонкие» двумерные и «взрывные» трехмерные, делая упор, кроме площади пожара, на его третье измерение — высоту.

По его расчетам, в слабом двумерном пожаре большая часть энергии остается в форме тепла. Такой пожар может превратить не более нескольких тысячных процента его тепловой энергии в кинетическую энергию движения поднимающихся газов и кинетическую энергию конвекционной колонки с вращением. С другой стороны, сильный пожар способен превратить 5% и более его тепловой энергии в кинетическую, которая проявляется в виде сильных потоков вверх, притока воздуха вращения в конвекционной колонке и вихрей, которые могут переносить горящий материал по воздуху. Благодаря этому распространение пожара начинает определяться не скоростью продвижения фронта огня, а дальностью и массовостью переноса горящих частиц, от которых возникают «пятнистые пожары». Большинство опустошительных пожаров, по данным Байрама, развивается при

умеренных скоростях ветра — от 6 до 12 м/сек и сама скорость ветра не влияет на скорость продвижения пожара, а влияет профиль ветра и устойчивость атмосферы.

Факт усиления пожара с момента прорыва столба дыма в более высокие слои атмосферы и образование очагов горения от переноса горящих углей и головней давно знаком практикам борьбы с пожарами и описан А. Левизом (1833). Интерес представляет попытка Байрама объяснить этот факт с физической точки зрения и подкрепить расчетами. Он систематизирует свои взгляды в двух главах книги (Davis, 1959), посвященных процессу горения в лесу и поведению пожаров, в такой последовательности.

1. Интенсивность ряда пожаров увеличивается постепенно при горении в однородных горючих материалах с увеличивающейся воспламеняемостью, т. е. с высушиванием их под действием внешних условий.

Под интенсивностью пожара Байрам понимает количество тепла, освобождаемое в единицу времени на единицу длины фронта пожара.

С. М. Вонский (1957) дал аналогичное определение интенсивности пожара, но предложил, кроме количества тепла, выделяющегося с единицы длины кромки пожара в единицу времени, определять ее также через поступательную скорость волны огня кромки, глубину кромки и высоту пламени. Такое определение интенсивности сложилось исторически из потребности измерять силу пожаров. Мы считаем, что в настоящее время для интенсивности пожара полезно использовать одну величину — количество тепла, выделяющегося с единицы длины кромки пожара в единицу времени, и следует отличать ее от скорости продвижения горения.

Байрам предлагает определять интенсивность по формуле

$$I = H\omega r, \quad (1)$$

где  $I$  — интенсивность пожара (ккал/м·мин);  $H$  — удельный запас тепла, равный теплотворной способности абсолютно сухих горючих материалов минус потери тепла на повышение температуры воды в горючих материалах, отделение связанной воды из горючих материалов (десорбцию), испарение воды в горючих материалах, нагрев водяного пара до температуры пламени;  $\omega$  — вес наличных горючих материалов (кг/м<sup>2</sup>);  $r$  — скорость распространения пожара вперед (м/мин).

Произведение  $H\omega$  является количеством тепла, выделяющимся с единицы площади на кромке пожара. Вонский определил  $I$  для трех типов леса при различной влажности горючего.

2. Интенсивность одного действующего пожара изменяется скачками при вовлечении в горение новых порций горючих материалов (горение напочвенного покрова, горение подлеска,

переход огня в кроны). У нас это положение детально разрабатывается Н. П. Курбатским (1962).

3. Характер начального распространения пожаров зависит главным образом от направления и скорости ветра в приземном слое и рельефа, причем роль расположения и типа горючих материалов сводится к влиянию на интенсивность.

4. По мере развития пожар сам начинает влиять на скорость распространения, что особенно проявляется на пожарах необычно высокой интенсивности, получивших название «взрывных» (blowup), «блуждающих» (erratic) и «всесожжений» (conflagration fires). Эти пожары наиболее трудны для тушения и имеют особый характер развития. На их долю приходится наибольшая часть выгоревшей площади, расходов на тушение и общих убытков.

5. Изучение развития больших пожаров может идти двумя путями: сбором информации об отдельных пожарах и на основе массовых наблюдений установления характера развития в различных условиях; анализом модели системы пожара.

6. Собираемая информация должна раскрыть ряд зависимостей в развитии пожаров, имеющих практическое значение: зависимость развития пожаров от времени суток, роль вертикальной структуры пожара и переноса горящих частиц, значение характеристик пламени и формы фронта пожара, связь с горючими материалами и их влажностью, влияние температур воздуха и атмосферных фронтов на развитие пожаров.

7. Теоретическая модель системы пожара, по мнению Байрама, необходима для понимания развития пожаров всех размеров с широкими колебаниями интенсивности. Использование модели системы пожара открывает путь к применению математических методов для сведения развития пожара к энергии и процессам ее превращения. Составными частями модели системы пожара Байрам предлагает считать: поле земного тяготения, сжимающуюся жидкость (земную атмосферу), пограничную поверхность под сжимающейся жидкостью (поверхность земли), источник тепла.

Связь между источником тепла (пожаром в целом) и атмосферой выражается через сравнение двух энергий: кинетической энергии поля ветра и тепловой энергии пожара. Байрам предлагает следующие уравнения для их расчета.

Для кинетической энергии поля ветра — уравнение

$$P_w = \frac{\rho (v - r)^3}{2g}, \quad (2)$$

где  $P_w$  — кинетическая энергия ветра на некоторой высоте  $z$  над пожаром ( $\text{кгм/сек} \cdot \text{м}^2$ ),  $r$  — скорость распространения по-

жара вперед ( $m/сек$ );  $v$  — скорость ветра на высоте  $z$  ( $m/сек$ );  $g$  — ускорение земного притяжения ( $9,8 m/сек^2$ );  $\rho$  — плотность воздуха на высоте  $z$  ( $кг/м^3$ ).

Для выражения тепловой энергии пожара он дает такое уравнение:

$$P_f = \frac{I}{C_p(T_0 + 459)}, \quad (3)$$

где  $P_f$  — кинетическая энергия потока в конвекционной колонке на высоте  $z$  ( $кгм/сек \cdot м^2$ );  $I$  — интенсивность пожара ( $ккал/м \cdot сек$ );  $C_p$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении ( $ккал/кг \cdot град$ );  $T_0$  — температура наружного воздуха, поднимаемого пожаром ( $T_0 + 459$  для шкалы Фаренгейта).

Отношение  $P_f/P_w$ , по мнению Байрама, определяет развитие пожара. Если для высоты от 300 до 1200 м  $P_f/P_w > 1$ , то пожар получает крайнюю характеристику развития под влиянием образуемой им тепловой энергии. В случае, если  $P_f/P_w < 1$ , пожар приобретает блуждающий характер развития. В начальных стадиях развития обязательно  $P_f < P_w$ . Момент, когда  $P_f$  приближается к  $P_w$  и затем становится больше  $P_w$ , рассматривается как «взрыв». В это время он переходит от типа с принудительной конвекцией к типу со свободной конвекцией. Внешне это выражается в образовании пожарной конвекционной колонки вместо плюмажа дыма.

Для пожаров, действующих при сильных ветрах,  $P_w > P_f$ , и это ограничивает конечную интенсивность пожара. Байрам предполагает, что скорость распространения таких пожаров делает их трудными для борьбы, но они все же не имеют блуждающих и бурных черт развития или крайних скоростей распространения, как в случае  $P_f > P_w$ . Этим он пытается убедить, что развитие сильных лесных пожаров не зависит от скорости ветра в приземном слое, а зависит от профиля ветра, что самые страшные пожары происходят при скоростях ветра, далеких от максимума (в пределах 6—12 м/сек).

Байрам утверждает, что профиль ветра, при котором скорость его уменьшается в зоне от 300 до 1200 м, способствует превращению низкоинтенсивных пожаров с принудительной конвекцией в высокоинтенсивные со свободной конвекцией. Для примера приведены расчеты  $P_f$  и  $P_w$  для нескольких пожаров. Крайне сильное развитие пожаров наблюдается при максимальной скорости ветра на высоте 450 м или меньшей. Эта критическая высота для легких горючих материалов (трава, хвоя) будет ниже, чем для тяжелых (порубочные остатки, бревна) и ниже для слабых приземных ветров, чем сильных. Причины уменьшения скорости ветра с высотой для Байрама остаются неясными. Он указывает, что они не связаны с типами погод и системами давления, но выступают в связи с определенными условиями атмосферной неустойчивости

и тепловой турбулентности. Таким образом, неустойчивость атмосферы способствует росту маленьких пожаров, черпающих часть энергии для своего развития из атмосферы.

Из предложений Байрама новой для нас является попытка установить зависимость между характеристиками развития пожара и структурой атмосферы, выражаемая сравнением двух энергий: тепловой энергии пожара и кинетической энергии ветра на разных высотах. Правильность расчета мощности пожара ( $кгм/сек \cdot м^2$ ) у Байрама не подтверждается надежной методикой (величины  $H$  — запас тепла,  $\omega$  — вес наличных горючих материалов и  $r$  — скорость распространения пожара пока не могут быть предсказаны). Подразумевая под сильными пожарами низовые и верховые, Байрам не учитывает характер распределения тепловой энергии от сгорающих горючих материалов. Отечественные исследования В. П. Молчанова (1957) и Г. А. Амосова (1958) стоят на пути более глубокого изучения этого вопроса. Вместе с тем положения, касающиеся модели системы пожара, требуют проверки и дальнейшего развития в наших условиях.

Наметившееся в конце 50-х годов увеличение заинтересованности метеорологов в объяснении поведения лесных пожаров дало ряд выводов, в значительной степени расширивших концепцию Байрама, а по некоторым пунктам прямо ей противоречащих.

В. Шефер (Shaeffer, 1957) высказал оригинальную точку зрения о причинах распространения и развития сильных лесных пожаров. Он пытается доказать, что большие пожары возникают при порывистых сильных ветрах у поверхности земли, связанных со струйными потоками на больших высотах. Наблюдение этих потоков подтверждается фотографиями облаков верхнего яруса и изменениями коронного тока. В момент прохождения таких потоков, по данным В. Шефера, развился ряд сильных пожаров при скорости ветра 20 м/сек у пожара. В. Шефер утверждает, что только что-либо богатое энергией, широко распростертое и непрерывное, как воздушные потоки, может создать на продолжительный период сильные ветры, которые необходимы как возбуждающая и движущая сила таких пожаров, как Менский в 1947 г. По мнению В. Шефера, местные ветры типа фенов (Санта-Ана, Мистраль, Чинук, Сирокко) происходят от струйных потоков на больших высотах.

Г. Е. Виттенгейм (Whittingham, 1958) на основании изучения 109 искусственных пожаров (выжиганий) в кустарниковых зарослях юго-восточного Квинсленда (Австралия) пришел к следующим выводам, касающимся влияния атмосферных факторов на развитие пожаров.

1. Успешные выжигания (хорошее развитие пожаров) возможны при сухости горючих материалов, определяемой отношением  $P/E_{30} = 1,2$ , где  $P$  — сумма осадков за 30 дней, предшест-

вующих дню с пожарами;  $E$  — сумма испарения за тот же срок.

2. Критическим размером является площадь 20 га, при достижении этой площади горение происходит более успешно.

3. Невозможно предсказать характер развития пожара по синоптической карте.

4. В начальной стадии горения облачность может немножко задержать горение вследствие понижения температуры воздуха в тени облаков. Однако, когда пожар разгорелся, он почти независим от внешнего нагрева, его развитие определяется скоростью ветра на разных высотах (профилем ветра) и скоростью горения горючего.

5. Лучшие условия горения связаны с легкими до умеренных западными ветрами.

6. Отличное горение наблюдается при сверхадиабатической скорости падения температуры и высокой температуре у поверхности земли. Неустойчивость атмосферы вызывает очищение площади от продуктов горения, установление вертикальной конвекции и горизонтальные притоки воздуха. При достижении определенной величины производства тепловой энергии роль атмосферной устойчивости снижается до минимума, а наибольшее значение приобретает влияние профиля ветра.

Используя уравнение Махта для расчета максимальной высоты подъема конвекционной колонки, Г. Е. Виттенгейм подтвердил вывод Г. М. Байрама (1954), что при подходящем профиле ветра конвекционная колонка достигнет высоты нескольких километров. За минимум успешного развития горения им взята высота 150 м.

А. Ф. Рейнбид (Rainbird, 1958) ставит скорость распространения пожара в зависимость от устойчивости воздушного потока, указывая, что при одной и той же горизонтальной скорости ветра могут возникнуть вариации в скорости распространения пожара, обуславливаемые турбулентной связью между нижними и верхними слоями воздуха. А. Г. Робин и Г. Ю. Вильсон (Robin and Wilson, 1958) подтвердили предположение Байрама, что скорость ветра в приземном слое до 11 м/сек мало влияет на возникновение больших пожаров.

А. Ф. Рейнбид (Rainbird, 1958), пользуясь описаниями А. В. Ларкинса (Larkins, 1958), сделал вывод, что распространение пожара «Мангопла» на площади более 200 тыс. га обязано трем сильным холодным фронтам, при прохождении которых пожар менял направление продвижения и уходил из-под контроля. Эти же авторы приводят примеры распространения нескольких сильных пожаров, вызванных изменением направления сильных ветров в различных системах давлений.

В. Р. Крумм в книге К. П. Дэвиса (Davis, 1958) в отличие от Байрама указывает, что устойчивый воздушный поток способен

вовлекать пожар в свое движение, вследствие чего он распространяется по ветру не считаясь с рельефом. Причинами устойчивого воздушного потока в нижнем слое атмосферы, по Круму, может быть прохождение холодного воздуха, опускание воздуха из верхних слоев в нижние в системах высокого давления (антициклонах), грозовые нижние тяги, т. е. приземные ветры, дующие радиально от эпицентра грозового облака.

В. Е. Рейфсnyder (Reifsnyder, 1960) в докладе на V Всемирном конгрессе лесоводов свел влияние атмосферных условий на развитие и распространение лесных пожаров к следующим положениям.

1. Климатические, сезонные, периодические и суточные изменения погоды влияют на горючие материалы, подготавливая их к загоранию через механизм испарения и гигроскопичности. Как только горючее воспламенилось и пожар начался, на его развитие преобладающее влияние начинает оказывать состояние атмосферы.

2. Ветер в приземном слое — наиболее важный из всех метеорологических элементов, влияющих на развитие пожара. Снабжение кислородом прямо влияет на скорость горения свободно горящего материала; кинетическая энергия ветра влияет на направление распространения огня прямо — переносом тепла от очага горения к негорящему горючему, и косвенно — переносом искр по воздуху. Изменчивость ветра по направлению и скорости играет большую роль в определении, как пожар будет распространяться и какие меры борьбы необходимы.

3. Вариации вертикального профиля ветра по скорости и направлению оказывают глубокое воздействие на большие пожары. Многие большие пожары распространялись главным образом пятнистым путем — воспламенение производится искрами, переносимыми по воздуху и падающими за границами пожара. Пятнистость — следствие сухости горючего и вертикальной конвекции, вызываемой пожаром. Развитие высокой и мощной конвекционной колонки над движущимся пожаром может зависеть от профиля ветра. Многие из наиболее опустошительных и трудных для тушения пожаров в недавние годы ассоциировались с конвекционной колонкой, простирающейся на 6 км и выше. Измерения или оценки на месте профиля ветра могут предупредить персонал по борьбе с пожаром о неизбежности взрывных условий. Наблюдения колонки дыма над пожарами могут дать оценку профиля ветра.

4. Термическая структура и вытекающая из нее устойчивость атмосферы определяют профиль ветра, а отсюда и воздействие на развитие пожаров. Во время типичной пожарной погоды имеются сильные суточные колебания вертикального градиента температуры, которые отражаются на структуре приземного ветра. В середине дня преобладает нестабильная сверхадиабатиче-



ская скорость снижения температур с высотой и приземный ветер, связанный с градиентом ветров. Скорости ветра у поверхности земли велики, ветры порывисты и нормально дуют в направлении, которое отклоняется на 30—40° от верхних ветров. Ночью стабильная скорость снижения температуры изолирует ветер в приземном слое от верхнего потока; движение воздуха относительно нетурбулентно и зависит больше от плотности потока, чем от распределения давления в барических системах. Периоды перехода между стабильным и нестабильным распределением температур и замещения одной воздушной массы другой с различной устойчивостью являются критическими периодами в борьбе с лесными пожарами. Фланг пожара может стать быстро движущимся фронтом в течение нескольких минут. Пожары могут менять направление на обратное почти мгновенно, и предполагаемая тыловая часть периметра пожара внезапно может стать активным фронтом.

5. Устойчивое атмосферное распределение температур держит дым и пыль около почвы, уменьшая горизонтальную видимость. Неустойчивость воздуха приводит к быстрой турбулентной диффузии этих литометеоров в верхние слои, что препятствует проведению воздушных операций из-за ухудшения видимости.

### **Некоторые особенности крупных пожаров в Сибири**

Наш опыт работы в авиационной охране лесов позволяет привести в подтверждение высказанных положений некоторые наблюдения.

Слабый начинающийся пожар характеризуется дымом светло-серого цвета, который поднимается над кронами до высоты 100—150 м и относится ветром (так называемый плюмаж дыма). Сильные пожары образуют мощные конвекционные колонки, обычно поднимающиеся до уровня кучевых облаков среднего яруса. Дым слабого пожара виден в ясную погоду в равнине на расстоянии до 25—30 км, в горах его можно не заметить, пока не пролетишь над ним. Конвекционная колонка сильного пожара видна с расстояния, превышающего 120 км, и в горах так же хорошо, как и в равнине.

В 1961 г. в бассейне реки Манны (правый приток Енисея) только 4 из 100 пожаров были сильными, причем два переходили в устойчивые верховые в елово-пихтовых древостоях, а два были низовыми в изреженных сосняках с обильным сосновым подростом. В 1962 г. в бассейне верхнего течения Кети (правый приток Оби) 40% пожаров образовали мощные конвекционные колонки, большая часть из них действовала в шелкопрядниках, где запасы усохшего древостоя достигают 200 м<sup>3</sup> на 1 га и более.

Скорость продвижения пожаров зависела от их развития. Сильные низовые пожары в старых гарях с травяным покровом

и майские пожары в шелкопрядниках распространялись со скоростью до 10—12 м/мин при ветре у поверхности земли 12—15 м/сек. На захлавленной гари с покровом из иван-чая ветер отрывал пламя и переносил вперед на 6—8 м, а ширина зоны горения (глубина фронта) составляла 8—10 м. В шелкопрядниках пожар в районе с. Маковское (на р. Кеть) за три дня 12—14 мая 1962 г. прошел 30 км, и дальнейшее продвижение его приостановилось лишь тогда, когда на его пути встретились негоримые осинники.

13 мая в этом районе был типичный «черный день». Дым от пожара ветер приносил в г. Енисейск за 120 км. В Енисейском аэропорту с 16 час. из-за ухудшения видимости прекратились полеты. Солнце выглядело в виде багряного диска на желтом поле мглы. В 20 час. пришлось включить электрическое освещение, лампы светились ярким белым светом подобно лампам дневного света. Вечером на Енисейск начал выпадать пепел с размером частиц до 5 мм.

Описанные случаи являются примером действия пожаров на площадях с большим количеством сухих горючих материалов (трава, хлам) сразу после схода снегового покрова (снег сошел 8—9 мая). Скорость продвижения этих пожаров определялась скоростью продвижения их кромки при сильных (12—15 м/сек) ветрах у поверхности земли и высокой турбулентности воздуха до высоты 600—900 м. Турбулентность воздуха вызывалась его прогревом в гребне мощного антициклона, установившегося над Западной Сибирью.

Летние пожары в шелкопрядниках развивались иначе. По мере высыхания горючих материалов пожары чаще становились интенсивными, образовывали мощные конвекционные колонки при умеренных ветрах (6—8 м/сек). Эти пожары характеризовались переносом горящих угольев и головней на большие расстояния, за счет чего возникали новые очаги перед фронтом пожаров.

В двух случаях нам приходилось наблюдать возникновение новых очагов за 4 и 5 км перед фронтом пожара. 22 июня на пожаре в верховье Сочур (правый приток р. Кеть) перед фронтом главного пожара шириной 6 км возникло несколько новых очагов, два из них к 18 час. покрыли площади в 60 га и 20 га и находились в 1,5 км и 2 км от фронта главного пожара. Как быстро в таких случаях возникают «пятнистые пожары», свидетельствует факт, что перед фронтом пожара 8 га, действовавшего менее двух часов, мы насчитали 8 новых очагов площадью от 0,01 до 0,2 га на расстоянии 50—200 м от фронта.

Из приведенных наблюдений следует, что пожары в летний период продвигались за счет разгорания очагов, образованных от переноса горящих частиц. Этот вывод подтверждается наблюдениями за продвижением пожаров. Два пожара в шелкопрядниках продвинулись за один день вперед по направлению ветра

на 10—12 км при ширине выгоревшей зоны 1,5—2 км, в то время как фронт пожаров составлял 25 и 6 км. Пожар, имевший фронт 25 км, продвинулся вперед двумя выступами; две головы этого пожара создали видимость, что действует два отдельных пожара. Это наблюдение согласуется с предположением Байрама, что пожары площадью 2000 га образуют не более одной конвекционной колонки. В этом, очевидно, проявляется взаимодействие пожара с верхними слоями тропосферы. Сущность этого взаимодействия остается пока неясной, мы наблюдаем лишь его результаты, а именно: пожар усиливается с момента образования его конвекционной колонки, и движение колонки начинает определять направление его распространения.

При патрульных полетах приходилось наблюдать, как несколько пожаров, находящихся в зоне обзора с борта вертолета, одновременно и очень быстро за 15—20 мин. образуют свои конвекционные колонки. Наблюдения приходились на период от 10 до 12 час утра. Столб дыма обычно поднимался до нижнего уровня кучевой облачности (1500—2000 м) и на этой высоте изгибался, часто простираясь на сотню километров и более. Можно предположить, что суточное развитие пожара тесно следует суточному изменению турбулентности воздуха. По крайней мере, конвекционные колонки пожаров наглядно отражают профиль ветра, определяемый вертикальным градиентом температур. Укажем еще на одну особенность пожарных ситуаций, затрагиваемую в докладе Рейфснидера. Задымленность атмосферы, вызываемая лесными пожарами, при известных обстоятельствах становится решающим фактором, препятствующим борьбе с ними. В малоосвоенных лесных массивах Сибири основным и подчас единственным средством доставки рабочих к месту пожара является авиация. При массовой вспышке задымленность атмосферы настолько ухудшает видимость, что всякие воздушные операции прекращаются на длительные периоды, как это случилось в Приангарье в 1962 г. С 28 июля по 10 августа вся деятельность по тушению пожаров была парализована, так как из-за ухудшения видимости легкомоторная авиация прекратила работу. На специальных самолетах была установлена задымленность атмосферы до высоты 7 км. Наиболее горимые районы в это время оказались в центре антициклона. Состояние атмосферы способствовало подъему продуктов горения в верхние слои тропосферы и переносу дыма в соседние районы, на несколько сот километров. Пожары образовывали мощные столбы дыма торроидальной формы, что вполне соответствует структуре атмосферы.

Отрицательное влияние задымленности на борьбу с пожарами весьма распространено, поэтому необходимо ее изучение с целью более надежного планирования и организации работ. В частности, для Сибири актуален вопрос, как пожары на неохранные

мых территориях могут повлиять на тушение пожаров в соседних с ними охраняемых районах.

Обобщая изложенное, мы приходим к таким выводам.

Практика борьбы с пожарами требует от науки методов расчета объема работ по обнаружению и тушению лесных пожаров. Необходимые методы могут быть разработаны только при изучении сущности возникновения, развития и распространения пожаров.

Понимание поведения лесных пожаров складывается из понимания совокупности многих процессов, включающих также влияние атмосферы на сухость горючих материалов, развитие пожара и его распространение. Удачная попытка обобщить многие факторы, обуславливающие поведение пожара, сделана Рейфснидером. Но эту попытку следует рассматривать только как гипотезу, поскольку выводы Рейфснидера носят описательный характер, а не выражают закономерной связи между явлениями, влияющими на поведение лесных пожаров. На пути выявления таких закономерностей стоят работы Байрама.

### **Практические рекомендации и программа дальнейших исследований**

Практикам борьбы с пожарами могут пока оказать помощь сигналы, предупреждающие о возможности сильного развития пожара, к которым следует отнести: высокий показатель (критерий) горимости и низкую влажность горючих материалов и воздуха; большое количество наличных горючих материалов (которые могут сгореть при данных условиях); порывистые и переменные ветры, свидетельствующие о неустойчивости атмосферы, а также пыльные вихри и полеты с болтанкой; профиль ветра, при котором ветер на нижнем уровне сильнее, чем в следующем вышележащем слое; подход сухого холодного фронта, сопровождающегося сильными порывистыми ветрами в приземном слое; ранний перенос горящих материалов на расстояние примерно 200 м от фронта огня, свидетельствующий о наличии верхней тяги и вихрей, способных поднимать вверх тлеющие угли, достаточно большие, чтобы гореть полминуты и более; движение конвекционной колонки и ее форму.

Почти все перечисленные сигналы могут быть предсказаны. Большую роль в предвидении поведения пожара при этом играет знакомство с общей синоптической ситуацией. Подобное знакомство дает представление об ожидаемой сухости горючих материалов; ожидаемых количествах и характере осадков; направлении и силе ветров, а следовательно о направлении и скорости движения пожара; возможности образования пожарами мощных конвекционных колонок и вероятных зон задымления в районе работ.

Работникам лесной охраны и авиабаз, в первую очередь начальникам оперативных отделений, мы можем рекомендовать проводить консультации с синоптиками при организации тушения крупных и длительно действующих пожаров. С этой целью важно обеспечение синоптическими прогнозами тех пунктов, где нет метеостанций, составляющих синоптические карты.

С точки зрения дальнейшего изучения природы лесных пожаров, мы считаем необходимым разграничивать влияние различных факторов на способность пожара к саморазвитию и влияние на скорость распространения пожара, уже достигшего определенного уровня развития. В качестве скачков, в которых проявляется развитие пожара, можно привести ускорение движения начинающегося пожара под воздействием противоположной кромки пожара на продвижение фронта, исследованное С. М. Вонским (1957); прорывы дыма в слои атмосферы, превышающие 150 м над уровнем пожара, и образование конвекционной колонки, сопровождающее при других благоприятных условиях превращение низовых пожаров в верховые, и усиление низовых пожаров; образование новых очагов перед фронтом пожара и увеличение скорости распространения пожара за счет их расширения, образование пожарных вихрей.

Последовательное изучение усложняющегося взаимодействия пожара с атмосферой возможно только на основе знания состояния горючих материалов в лесу. Первым этапом в установлении закономерностей развития лесных пожаров является глубокое изучение свойств горючих материалов, возможность и характер их горения при разных условиях. Работы в этом направлении ведутся лабораторией лесной пирологии Института леса и древесины. Расширение работ требует создания специальных установок и использования современных методов вычисления.

Второй этап исследований призван определить скорость распространения пожаров в зависимости от состояния атмосферы при различных уровнях развития пожара.

Задачей третьего этапа будет установление взаимосвязи между пожаром и атмосферой при разных поверхностях горения, т. е. влияние на пожар перехода от одних комплексов горючих материалов к другим.

Важными этапами второго и третьего этапов исследований являются:

- 1) определение характера начального распространения пожаров на основе изучения режима ветра в лесу;
- 2) определение масштабов и характера взаимодействия лесных пожаров с более высокими слоями атмосферы;
- 3) изучение роли вертикального градиента температуры и профиля ветра в развитии лесных пожаров, которая проявляется, по-видимому, в суточной цикличности развития пожаров;

способности малых пожаров черпать энергию для своего развития из неустойчивой атмосферы; в изменении поведения пожаров при смене воздушных масс;

4) выявление природы скачков в развитии лесных пожаров, понять которые можно при изучении различий между конвекционными колонками и плюмажами дыма, встречаемости и переходов из одного вида в другой, влияния на процесс горения и отражения ими процесса горения; влияния конвекционных колонок и плюмажей на распространение пожаров; значения соотношений энергии пожара и энергии поля ветра для изменения развития пожара; значения размера пожара для образования конвекционной колонки, изменения интенсивности и скорости распространения пожара; условий переноса горящих материалов и образования новых очагов; условий образования пожарных вихрей.

Практики борьбы с пожарами должны помочь исследователям в сборе достоверных данных о поведении пожаров, поскольку опыты трудно и дорого проводить в требуемых масштабах. Специальные экспериментальные исследования по намеченным вопросам в крупном масштабе организационно сложны и опасны.

Методика моделирования лесных пожаров еще мало разработана. Поэтому в ближайшее время полезно и необходимо проводить всесторонние наблюдения за условиями развития возникающих крупных пожаров. Такие наблюдения приблизят нас к пониманию природы этого грозного явления и облегчат борьбу с ним.

### Л и т е р а т у р а

- Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1958.
- Анцышкин С. П. Противопожарная охрана леса, М.—Л., Гослесбумиздат, 1957.
- Вангенгейм Г. Я. Метеорологическая обстановка лесных пожаров на Севере в 1936—1937 гг. В сб. «Борьба с лесными пожарами авианаземным методом». Гослестехиздат, 1939.
- Вонский С. М. Интенсивность огня низовых пожаров и ее практическое значение. Л., Изд-во ЛенНИИЛХ, 1957.
- Ильенков П. Г. Из наблюдений за ходом лесных пожаров.— Лесное хозяйство, 1939, № 6.
- Корчагин А. А. Условия возникновения пожаров и горимость лесов Европейского Севера.— Ученые записки ЛГУ, 1954, вып. 8.
- Курбатский Н. П. Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности в лесах. Леноблиздат, 1954.
- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. Гослесбумиздат, 1962.
- Левиз А. Испытанный способ тушить лесные пожары.— Лесной журнал, 1833, ч. 1.
- Мелехов И. С. Сезоны лесных пожаров и построение географической схемы лесопожарных поясов.— Сб. науч.-иссл. раб. Архангельского лесотехнического института, 1946, вып. VIII.

- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары, Архангельск, 1947.
- Молчанов А. А. Скорость распространения лесных пожаров в зависимости от метеорологических условий и характера древостоя.— Лесное хозяйство, 1940, № 6.
- Молчанов В. П. Условия распространения верховых пожаров в сосняках.— Лесное хозяйство, 1957, № 8.
- Нестеров В. Г. Уроки Кирсинского пожара.— Лесное хозяйство, 1939, № 4.
- Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. Гослесбумиздат, 1949.
- Нестеров В. Г. Кибернетика, биология и лесоводство.— Лесное хозяйство, 1962, № 8.
- Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. Гослесбумиздат, 1955.
- Франк В. В. Анализ работы оперативного отделения по тушению лесных пожаров в условиях Гайнского района Пермской области (Дипломная работа). Рукопись. Фонды Ленинградской лесотехнической академии, 1959.
- Arnold R. K. and Buck C. C. Blow-up fires — silviculture or weather problems? — *J. Forestry*, 1954, 52; 408—411.
- Byram G. M. Atmospheric conditions related to blow-up fires.— *U. S. Forest Serv. Southests. Forest Expt. Sta.*, 1954, paper 35.
- Byram G. M. Some principles of burning and their significance in forest fire behavior.— *Fire Control Notes*, 1957, N 2.
- Davis K. P. Forest fire: control and use. (N. I. Fire fighting methods and techniques. (Manual for forest fire control. Northeastern Forest Fire Protection Commission, Region 7). *U. S. Forest Service. Mc. Graw-Hill Book Co.*, 1958, N 4.
- Larkins A. W. The effect of wind changes on fires (proceedings of the fire weather conference). Melbourne, 1958.
- Rainbird A. F. The problem of wind in the prevention and control of bush fires (proceedings of the fire weather conference). Melbourne, 1958.
- Reifsnnyder W. E. Weather and fire-control practices (Fifth World Forestry Congress). Washington, 1960.
- Robin A. I. and Wilson G. H. The effect of meteorological conditions on major fires in the Riverina (New South Wales) district (Proceedings of the fire weather conference). Melbourne, 1958.
- Whittingham H. E. Meteorological factors controlling success or failure of scrub burns in plantation areas in Southeast Queensland (Proceedings of the fire weather conference). Melbourne, 1958.
- Weck I. Die Waldbrand, seine Vorbeugung und Kämpfung. Stuttgart, Kohlhammer Verlag, 1950.

## ШЕЛКОПРЯДНИКИ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ И ПОЖАРЫ В НИХ

Древостой, усохшие после повреждения сибирским шелкопрядом, принято называть «шелкопрядниками». Шелкопрядники по несколько десятков и сотен тысяч гектаров встречаются от Урала до Дальнего Востока, включая Курильские острова и Сахалин. Общая площадь лесов, усохших от повреждения сибирским шелкопрядом, на указанной территории достигает 7 млн. 800 тыс. га. Приведенное число очень ориентировочное, так как сигнализации, надзора за очагами и учета их до последнего времени не было; оно включает площади лесов, усохших только за последнее десятилетие.

В последние 2 года горимость шелкопрядников сильно возросла и перед органами лесного хозяйства особенно остро встали вопросы охраны их от пожаров на больших территориях. В 1961—1962 гг. в Томской области и Красноярском крае пожары охватили несколько сот тысяч гектаров шелкопрядников. В связи с этим возник вопрос пожароопасности их, требующий срочного решения. Неотложного внимания требуют также вопросы рационального использования и повышения продуктивности огромных площадей с лесом, погибшим от сибирского шелкопряда. В настоящее время среди научных работников и практиков существует два разноречивых мнения о дальнейшей судьбе шелкопрядников. Часть их предлагает использовать древесину шелкопрядников в лесной и лесохимической промышленности и, соответственно, считает необходимым усиление охраны их от пожаров. Другая часть, располагая данными и наблюдениями о плохом состоянии древесины, большой пожароопасности и плохих перспективах лесовозобновления шелкопрядников, охрану считает излишней и поддерживает мысль о планомерном выжигании их.

В целях выяснения состояния древесины, пожароопасности, а также перспектив лесовозобновления шелкопрядников и гарей в них, лаборатория лесной пирологии Института леса и древесины провела обследование и начала стационарные исследования в шелкопрядниках равнинной части Западной



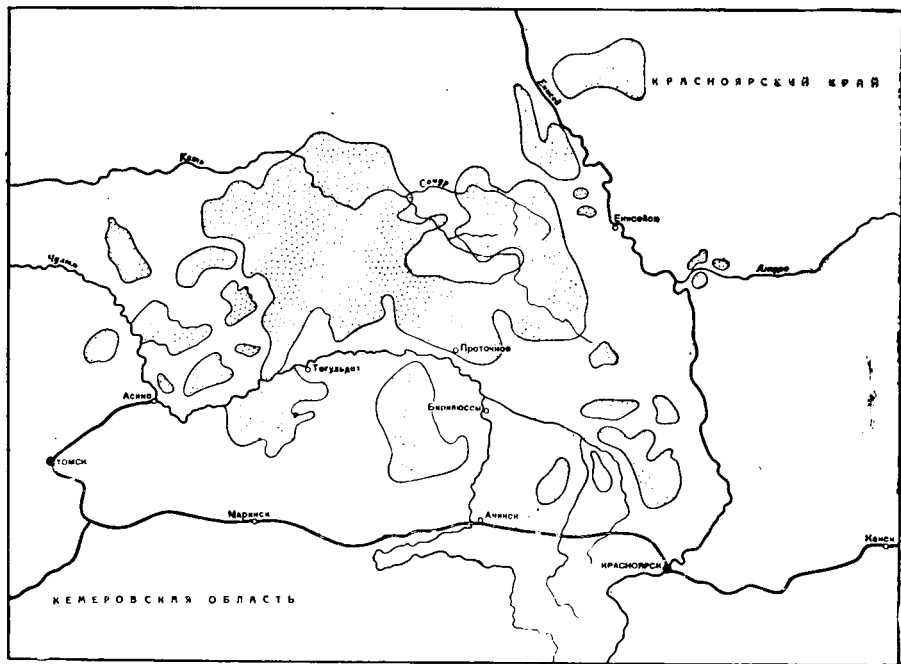


Рис. 1. Схема распространения шелкопрядников в Томской области и в центральной части Красноярского края (по данным пятой лесопатологической экспедиции В/О Леспроект)

Сибири. Летом 1962 г. была обследована территория общей площадью около 4 млн. га. Обследовались шелкопрядники в бассейнах Чулыма и Кети в Красноярском крае и Томской области (рис. 1). Обследования с воздуха на самолетах и вертолетах произведены с трех аэродромов: Тегульдет (Томская обл.), Ачинск и Енисейск (Красноярский край). Из Тегульдета осмотрена территория Томской области от Чулыма на север до р. Улу-Юл. В наиболее характерных местах производилась высадка с вертолета и пешеходные экскурсии. Левобережье Чулыма в районе Тегульдета обследовано наземным способом на расстоянии до 15 км от реки. Территория Мелецкого лесничества Бирилюского лесхоза, Тюхтетского лесничества Боготольского лесхоза и Средне Чулымского лесничества Тегульдетского лесхоза обследована наземными маршрутами. На самолете из Ачинска осмотрена территория вдоль Чулыма от Бирилюсс до границы с Томской областью по левому и правому берегам на глубину 50—100 км. По остальной части территории (бассейн Кети) использованы результаты аэровизуального осмотра территории с вертолета, базировавшегося в Енисейске.

На основании маршрутных обследований, на территории Мелецкого лесничества Бирилюсского лесхоза были подобраны опытные участки в шелкопрядниках и на гарях в них.

По лесорастительному районированию обследованная территория относится к подзоне березово-сосново-темнохвойных лесов средней тайги; она занимает ее восточный сектор — Кетско-Чулымскую подпровинцию (по Крылову и др., 1958). Для подпровинции характерно распространение темнохвойных лесов из кедра, пихты, ели, которые до повреждения шелкопрядом занимали свыше 35% лесопокрытой площади. В прошлом здесь преобладали зеленомошные смешанные леса III и IV бонитета с запасом на 1 га 150—200 м<sup>3</sup> древесины. Встречались также широколиственные и сложные кедряки и пихтарники.

Среди весьма распространенных в этом районе березняков преобладают производные типы леса II—III бонитета; по второй и третьей террасам речных долин часто можно встретить березняки и осинники I—II бонитета из сложных, широколиственных, вейниковых и разнотравных типов, которые Г. В. Крылов (1958) относит к коренным.

В прошлом на месте теперешних березово-осиновых формаций произрастали кедровники (Соколов, 1902). Указанные коренные березняки, довольно широко распространенные по речным долинам и вблизи населенных пунктов, сформировались, по его заключению, в результате деятельности человека и пожаров. Но еще во второй половине XIX в. первые исследователи Западно-Сибирских лесов отмечали широкое распространение березы и осины в удаленных и малонаселенных частях Западно-Сибирской низменности. Так, Энгельфельд в 1888 г. в работе о сибирских лесах писал, что «..леса таежные занимают более возвышенные места по правому берегу реки Оби до реки Кети, а отсюда поворачиваются на восток, занимая весь Мариинский округ до границ Енисейской губернии. Береза растет здесь в чистых или смешанных насаждениях: она даже заходит далее всех других пород на север, превращаясь на тундрах Ледовитого океана в карликовую. Осина также встречается довольно часто, хотя и не заходит далеко, как береза, и всегда составляет только примесь; господство же в этих лесах принадлежит хвойным породам, именно ели и пихте, что обуславливается множеством низменных сырых мест, исключительно ими занимаемых».

Как показали наши наблюдения, на обследованной территории в последнюю вспышку размножения сибирского шелкопряда погибли смешанные темнохвойно-лиственные леса в возрасте 100—150 лет. Характерно, что во многих древостоях лиственные и темнохвойные породы были разного возраста, причем темнохвойные на 20—50 лет моложе лиственных. Однако общеизвестно, что лиственный лес с примесью темнохвойных пород

формируется на вырубках, гарях или ветровальниках. Рассматриваемая нами территория мало населена, населенные пункты находятся только по ее окраинам и очень редки; они расположены в большинстве по берегам крупных рек. Промышленных рубок леса вплоть до недавнего времени здесь не было. Пожары в этой местности, благодаря большой влажности почвы и своеобразия лесов, в прошлом и теперь возникают сравнительно редко. После пожаров лиственный лес бывает одновозрастен, причем и примесь хвойных к ним довольно однородна. Гари имеют характерные вытянутые или треугольные контуры. А здесь мы этого не наблюдаем.

Анализируя особенности лесов обследованного района, мы пришли к заключению, что рассматриваемая территория издавна поражается сибирским шелкопрядом, а столь широкое распространение лиственных пород было результатом не только пожаров, но и возможных вспышек размножения сибирского шелкопряда в прошлом. На возможность этого указывает в своей работе Ю. П. Кондаков (1957): «Пихтовые леса по левому и правому берегу р. Енисей являются районом периодических вспышек массового размножения опаснейшего вредителя темнохвойной тайги — сибирского шелкопряда».

О вспышках размножения шелкопряда в этих районах в прошлом и в начале текущего столетия были сообщения в лесной печати. Случайные сведения о повреждениях сибирских лесов шелкопрядом относятся к началу второй половины XIX столетия. В нашем столетии массовое размножение сибирского шелкопряда в Западной Сибири наблюдалось в 1909, 1914—1917, 1920—1924, 1924—1946, 1952—1957 гг.

Периодически размножаясь, шелкопряд уничтожает на этой территории участки темнохвойных пород и примесь хвойных в лиственных древостоях. Лиственные шелкопряд не трогает, поэтому они разновозрастны и в пределах отдельных участков, и на обширной территории. Темнохвойные породы в период массового размножения вредителей сохраняются лишь в местах с избыточным увлажнением. Отсюда они постепенно расселяются на повышенные местоположения, создавая разновозрастную примесь к лиственным. После того как темнохвойные породы среди лиственных разрастутся, при благоприятных метеорологических условиях здесь возникает вспышка массового размножения сибирского шелкопряда.

Таким образом, сибирский шелкопряд — важный фактор формирования смешанных темнохвойных лесов равнинной части Западной Сибири. Вторым, не менее важным фактором, как показали наши наблюдения, являются пожары в шелкопрядниках, которым принадлежит определенная роль в процессе возобновления леса в древостоях, усохших от повреждения этим вредителем.

В настоящей статье по результатам маршрутных обследований и наблюдений на опытных участках, заложенных в усохших древостоях и на гарях в них, сделана попытка дать характеристику состояния древесины, загораемости и возобновления темнохвойных лесов, поврежденных сибирским шелкопрядом.

### Состояние шелкопрядников и древесины в них

Для обследованной территории весьма характерно чередование на обширных водоразделах относительно повышенных участков микрорельефа с пониженными. Соответственно разностям мезо- и микрорельефа наблюдаются различия в древостоях. В пониженных местах, как правило, преобладают ель и кедр. Количество пихты при этом уменьшается, а местами она совершенно отсутствует. Из лиственных пород на возвышенных местах больше осины, а в пониженных распространены березы бородавчатая и Крылова.

Степень повреждения древостоев сибирским шелкопрядом и последующие процессы их разрушения, наряду с пожароопасностью, оказываются также дифференцированными в связи с элементами рельефа и приуроченным к ним типам леса.

Характеристика некоторых типов леса и их состояния после повреждения шелкопрядом приводится в табл. 1.

В результате замеров протяженности встречающихся на линиях маршрутных ходов разностей рельефа установлено, что на долю участков с повышенным местоположением приходится 60% от общей протяженности маршрутов, а на долю участков с пониженным местоположением — 40%. Эти числа представляют собой среднее значение из данных, полученных при четырех наземных маршрутных ходах, общей протяженностью 70 км. Маршрутные ходы прокладывались по направлению от поймы Чулыма к водоразделу. При этом в соотношениях протяженности элементов рельефа в отдельных случаях наблюдались отклонения, достигающие 5—6% от среднего значения.

При осмотре лесов с воздуха мы выяснили, что на севере граница шелкопрядников проходит по р. Сочур, за которой (на правом берегу) начинаются неповрежденные сосняки. Юго-западная, южная и юго-восточная границы шелкопрядника четко не выражены. Здесь поврежденные участки вклиниваются в неповрежденную тайгу. Распространение шелкопряда было прекращено, по-видимому, неблагоприятными метеорологическими условиями.

Территория, на которой леса повреждены шелкопрядом, в настоящее время имеет характерную неоднородность. Сибирский шелкопряд повреждал темнохвойные породы преимущественно на повышенных местоположениях. Древостои чистых темнохвойных насаждений в настоящее время мертвые и сильно

Таблица 1

## Характеристика некоторых типов леса, поврежденных сибирским шелкопрядом

Участок	Тип леса (бонитет)	Положение почвы	Состав древостоя	Подрост	Подлесок	Травяно-кустарничковый ярус			Процент усохших стволов			Захламленность, м <sup>3</sup> на 1 га	Запас сухостоя, м <sup>3</sup> на 1 га
						основные виды растений	степень покрытия	сред. высота, см	кедр	пихта	ель		
1	Пихтач мшистый (II)	Водораздел; средне-оподзоленные суглинки, свежие	8П1К1Б	Пихта в возрасте от 10 до 20 лет	Рябина, бузина, черемуха, таволга, малина	Вейник, крапива, хвощ . . .	1,0	180	100	100	—	120	180
2	Ельник травяно-болотный (V)	Приречная долина, тяжелый суглинок	8Е2Б ед0С	Усохший подр. ели и пихты	Рябина, шиповник	Осоки, сныть	0,7	150	—	—	50	20	60
3	Кедрач травяно-болотный (V)	Долина реки, свежая супесь	8К2П	Кедр, пихта в возрасте от 10 до 60 лет	Рябина, ольха, спирея	Осоки, вейник . .	0,6	150	50	—	80	60	80
4	Ельник сфагновый (IV)	Водораздельное понижение торфяно-болотные почвы	8Е1К1Б	Редкий из ели и березы	Редкий из ивы	Сфагнум голубика, багульник	0,8	60	100	100	—	80	120
5	Ельник мшистый (III)	Водораздел подзолистый, свежие суглинки	6Е2П2Б	Пихтово-еловый, полностью усохший	Редкий из рябины и шиповника	Осоки, хвощ . . .	0,6	20	—	100	100	90	160
6	Кедрач широколиственный (III)	Долина реки, тяжелый суглинок	5К4Е1П	Редкий кедрово-пихтовый	Редкий из рябины	Борец, черемша	0,9	60	70	50	100	60	170

разрушены — большая часть деревьев в них сломаны или вывалены с корнями. В смешанных хвойно-лиственных насаждениях деревья лиственных пород остались живыми, хвойные полностью усохли.

В пониженных местоположениях с сырыми и заболоченными почвами крупные деревья темнохвойных пород усохли от повреждения вторичными вредителями. В таких случаях тонкомер и подрост сохранились живыми.

На общем фоне погибшего леса зелеными оазисами выделяются участки осины и березы, площадью от нескольких до 30—40 га. По наблюдениям с воздуха во время полетов площадь шелкопрядников, на которой совершенно нет живых деревьев — ни хвойных, ни лиственных, определена в 1 млн. 400 тыс. га, т. е. 40% от всей площади поврежденного леса. Остальные 60% территории представляют теперь редины из лиственных пород с мертвыми деревьями хвойных или же полностью сохранившиеся лиственные насаждения и сосняки.

На обследованной территории леса были повреждены и усохли в 1954—1957 гг., в период вспышки размножения шелкопряда. Через 5—8 лет после повреждения, вывал и бурелом мертвого леса происходят повсюду, но неравномерно. На повышенных местоположениях мертвые деревья вываливаются раньше и интенсивнее. В центре поврежденных участков доля вывалившихся и сломанных сухих деревьев больше, чем по их периферии.

Так, в чистых темнохвойных насаждениях запас вываленных усохших деревьев составляет 50—80% общего запаса древостоев. В бывших лиственно-хвойных насаждениях хвойные погибли на 100%, но вываленная часть их составляет лишь 20—40%. При этом в процессах разрушения древостоев наблюдается закономерность: чем меньше в насаждениях примесь хвойных, тем меньше доля вываленных деревьев. В северной части района, в бассейнах Кети и Сочура шелкопрядники разрушены значительно меньше, так как они более позднего происхождения.

По литературным сведениям, состояние шелкопрядников в первые 3—4 года зависит от комплекса факторов: от степени и характера повреждения насаждений сибирским шелкопрядом, устойчивости различных пород к повреждениям, от условий местопроизрастания и лесоводственных свойств древостоев.

Различные хвойные породы далеко не одинаково устойчивы к повреждениям, что сказывается на дальнейшем состоянии древостоев. Имеются указания (Ивлиев, 1957) на тот факт, что при повреждении хвои кедра только на 70—75% усыхание деревьев продолжается не менее трех лет. Примерно такой же срок усыхания после повреждения хвои на 75—80% у ели обыкновенной. Пихта сибирская усыхает при повреждении

хвои на 50%. На основании этого в лесной печати имеются указания (Кутузов, 1956; Цехановский и Петров, 1958; Ивлиев, 1958) на то обстоятельство, что продолжительность рубки не должна превышать для пихтовых насаждений двух, а для кедровых и еловых 3—5 лет со времени повреждения древостоев сибирским шелкопрядом.

К настоящему времени, через 5—10 лет после повреждения, процессы разрушения древостоев и древесины в шелкопрядниках зашли очень далеко. Погибшие древостои представляют участки мертвого леса. Мертвые деревья ломаются преимущественно на одну треть высоты и ниже, образуя завалы. Часть деревьев стоит с обломанными вершинами, на них сохранилось лишь незначительное количество сучьев, покрытых лишайниками; стволы сплошь испещрены летными отверстиями усачей и ходами короедов, около 60% коры обвалилось. Лежащие на земле стволы покрыты плодовыми телами (*Trametes abietis karst*, *Lensites sepiaria Fr*) в количестве иногда более 10 на одном погонном метре.

Относительно менее других пород разрушился и вывалился кедр сибирский. За ним в порядке увеличения степени разрушения следует ель, а затем пихта (см. табл.1).

Завалы, образовавшиеся в результате бурелома и вывала деревьев, зарастают кустарниками: спиреей рябинолистной, малиной лесной, смородиной щетинистой, дерном сибирским и шиповником. В травяном покрове преобладают злаки, осоки, кипрей, борец. Территория становится непроходимой.

Резюмируя, можно указать на следующее:

а) шелкопрядники 8—10-летней давности представляют собой лесную территорию, захламленную мертвым лесом с запасом в древостоях на лучших почвах до 340 м<sup>3</sup>;

б) участки чистых темнохвойных насаждений, поврежденных сибирским шелкопрядом, не имеют живых хвойных деревьев, а объем вываленных составляет 50—80% от запаса древостоя. В лиственно-хвойных насаждениях хвойные погибли на 100%, но вывал на землю составляет лишь 20—40%;

г) древостои хвойных пород после повреждения сибирским шелкопрядом были полностью отработаны стволовыми вредителями;

д) зараженность древесины грибами в различных участках на уровне I—II, а у пихты II и III стадии гнили составляет 70—100%. По техническим качествам древесина не пригодна не только для лесной, но и для лесохимической промышленности, так как основная масса древесных волокон разрушена грибами.

## Загораемость в шелкопрядниках и гарей в них

Наземное обследование шелкопрядников приводит к заключению, что вывалившиеся сухостойные деревья, обломанные вершины и сучья, мощный слой травянистого войлока — создали предпосылки к чрезвычайно высокой пожарной опасности их на большой территории. За последние три года около 50% площади шелкопрядников уже пройдено огнем.

Таблица 2

Запас напочвенных горючих материалов на участках различных категорий,  
т/га

Тип леса или категория участка	Горючие материалы				
	сучья на земле	опад	подстилка	травя	итого
Ельник мшистый (II бонитет) . . . . .	4,6	3,3	16,3	4,0	28,2
Шелкопрядник в ельнике мшистом	22,0	9,5	32,0	5,5	69,0
Гарь в шелкопряднике бывшего ельника мшистого . . . . .	10,9	2,3	30,0	3,2	46,3
Ельник травяно-болотный (IV бонитет) . . . . .	3,9	6,9	16,6	3,0	30,4
Шелкопрядник в ельнике травяно-болотном . . . . .	14,3	10,5	20,3	6,3	51,4
Гарь в шелкопряднике на месте бывшего ельника травяно-болотного . . . . .	9,9	3,5	14,0	3,3	39,7

Таблица 3

Запас древесины на участках различных категорий

Тип леса или категория участка	Состав дровостоя	Полнога	Количество древесины, м <sup>3</sup> на 1 га		Количество оставшегося после пожара горючего материала, %
			сухостой на корню	лежащей на земле	
Ельник мшистый (II бонитет) неповрежденный . . . . .	4ЕЗПЗК	1,8	340	—	—
Шелкопрядник в ельнике мшистом . . . . .	5Е2П2К1Б	0,8	194	118	—
Гарь 1962 г. в шелкопряднике на месте бывшего ельника мшистого . . . . .	—	—	112	20	42
Ельник травяно-болотный (IV бонитет) неповрежденный . . . . .	5ЕЗП2Б	0,5	150	—	—
Шелкопрядник в ельнике травяно-болотном . . . . .	6Е2П2Б	0,4	112	38	—
Гарь 1962 г. в ельнике травяно-болотном . . . . .	—	—	76	20	63



Представление о запасах горючих материалов в шелкопрядниках можно составить по данным табл. 2 и 3. Как видно из табл. 2, запас сучьев на земле в ельнике мшистом (II бонитета) достигает 22 т на 1 га (в абсолютно сухом состоянии); он в 4 раза больше запаса этого горючего материала в неповрежденном древостое. Запасы опада и подстилки составляют соответственно 9,5 и 32 т на 1 га. Аналогичное увеличение горючего материала на земле наблюдается и в ельнике травяно-болотном.

Такие запасы, структура и расположение горючих материалов в шелкопрядниках создают благоприятные условия для загорания и распространения горения на больших площадях.

Следствием сочетания «пожарной зрелости» шелкопрядников с благоприятными для возникновения пожаров метеорологическими условиями пожароопасных сезонов 1961—1962 гг. является резкое увеличение числа и особенно площади пожаров.

Таблица 4

Характеристика пожароопасных сезонов за 1956—1962 гг.

Год	Енисейск			Бирилюссы			Тегульдэт		
	дней II и III класса	средний класс	число пожаров	дней II и III класса	средний класс	число пожаров	дней II и III класса	средний класс	число пожаров
1956	105	II, 54	160	100	II, 39	33	103	II, 45	17
1957	86	II, 40	119	72	I, 9	39	104	II, 07	7
1958	85	II, 60	177	87	II, 26	54	87	I, 90	8
1959	69	I, 9	36	88	II, 17	45	96	II, 05	5
1960	78	I, 88	24	90	II, 14	35	108	II, 16	—
1961	101	II, 21	40	93	II, 12	53	95	II, 20	5
1962	111	II, 91	109	110	II, 85	104	107	II, 33	8

В табл. 4 приведена характеристика пожароопасных сезонов по числу пожаров и среднему классу пожарной опасности за период с 1956 по 1962 г. Данные относятся к тем районам, где имеются наибольшие площади темнохвойной тайги, погибшей от повреждения сибирским шелкопрядом. Как видно из табл. 4, в 1962 г. в районах Бирилюсской и Енисейской метеостанций в течение пожароопасного сезона по общей шкале преобладал высший класс пожарной опасности. В Енисейском районе в 1962 г. средний класс за сезон равен II,91; он был значительно выше среднего за 1958 г., который выделялся высокой горимостью лесов. Точно так же и в Бирилюсском районе средний класс за сезон составлял II,85, т. е. значительно выше обычного.

Шелкопрядники наиболее пожароопасны весной, когда со сходом снегового покрова и подсыханием горючих материалов

могут гореть участки по микровозвышениям. По мере увеличения бездождного периода горимыми становятся все большие площади и пожар, часто пройдя вторично по одному и тому же участку, распространяется на значительных площадях. На пожарищах в шелкопрядниках горение сохраняется очень долго и пожары, возникшие в мае 1962 г., летом, в сухую погоду неоднократно возобновлялись.

Ранней весной огонь не заходит в куртины сохранившегося лиственного смешанного леса. В результате гари в шелкопрядниках имеют пятнистый характер. Возникновение очага пожара и его первоначальное распространение приурочивается, как правило, к повышенным участкам микрорельефа.

В полевой период 1962 г. были проведены наблюдения за влажностью и загораемостью горючих материалов напочвенного покрова различных категорий лесных участков в связи с изменением погоды. Наблюдения начались со второй половины июля. Вторая половина лета по характеру метеорологических условий была несколько необычной для района работ. В течение летних месяцев стояла сухая малооблачная погода с небольшим количеством осадков (табл. 5).

Таблица 5

Распределение осадков по месяцам пожароопасного сезона

Год наблюдений	Количество осадков, мм						Итого
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	
1947—1957	19	36	44	72	61	52	284
1962	26	50	70	36	48	49	279

Осадков в мае и июне 1962 г. было в 1,5 раза больше средних многолетних. По количеству осадков, выпавших в эти месяцы, следовало ожидать, что весна и первая половина лета должны бы отличаться повышенной влажностью воздуха и горючих материалов. В действительности же, в связи с тем, что осадки выпадали неравномерно, дождливые периоды чередовались с сильной засухой, когда влажность воздуха и напочвенного покрова были низкие. В июле и августе осадков, напротив, было в 1,5 раза меньше средних многолетних. Общая же сумма их за апрель — сентябрь оказалась незначительно меньше средней многолетней.

Влажность различных групп горючих материалов как на опытных участках в лесу, так и в шелкопрядниках изменялась значительно, хотя по абсолютной величине в большинстве случаев оставалась сравнительно высокой.

Например, в ельнике мшистом влажность опада изменялась от 63 до 282%, в ельнике травяно-болотном — от 100 до 610%.

При этой влажности опада пожары в лесу невозможны. На участке шелкопрядника в бывшем ельнике мшистом влажность была от 30 до 196%, а на гари 1962 г. в бывшем ельнике травяно-болотном — от 45 до 300%. Когда влажность понижалась до нижних пределов, пожары в шелкопрядниках могли возникать и возникали.

Влажность лесной подстилки изменялась в ельнике мшистом от 77 до 230%, а в ельнике травяно-болотном — от 84 до 656%. Но в шелкопряднике же на месте бывшего ельника травяно-болотного, пройденного пожаром в 1962 г., она изменялась от 269 до 736%. По состоянию влажности подстилки пожары могли быть только беглыми.

Таблица 6

Загораемость участков различных категорий в Бирилюсском лесхозе

Очередность загораемости	Комплексный показатель	Категория участков	Площадь категории участков, на которой возможны пожары, в числителе в гектарах, в знаменателе % от всей площади	Число дней, в которые возможны пожары в данной категории участков
1	350—500	Шелкопрядники на месте бывших ельников и пихтачей мшистых	47908 <u>17,4</u>	51
2	2700	Ельники и пихтарники мшистые	59858 <u>73,4</u>	19
3	3000	Кедрачи и ельники сфагновые	42282 <u>93,4</u>	12
4	3200	Ельники, кедрачи разнотравные	9746 <u>97,0</u>	12
5	5000	Ельники, травяно-болотные	7736 <u>100</u>	4

В табл. 6 показана очередность появления загораемости на участках различных категорий во вторую половину пожароопасного сезона 1962 г. Наибольшую пожароопасность представляют участки шелкопрядников, которые могут гореть при комплексном показателе всего лишь 350 млб/град и более. На участках сырорастущего (неповрежденного) леса огонь мог распространяться при показателе 2700 млб/град и более, от сильных источников огня (костер, кромка пожара). Общая площадь таких участков 59 858 га, а вместе с шелкопрядниками на участках бывших ельников и пихтачей мшистых составляет 73,4% всей площади участков, перечисленных в табл. 6. Из таблицы следует также, что из 62 дней пожароопасного периода 82% были пожароопасны. Из этого числа 75% приходится на дни, когда пожароопасными были лишь участки шелкопрядников

и только 7% дней, когда пожароопасность распространялась и на все другие категории участков. Приведенные расчеты показывают, насколько увеличилась возможность возникновения пожаров на территориях, где есть шелкопрядники.

Гари в шелкопрядниках менее пожароопасны, чем шелкопрядники. В них снижается количество горючих материалов, ухудшаются условия их высыхания, лучше разрастаются травы. Для определения степени снижения пожароопасности на гаях в шелкопрядниках был проведен учет количества всех видов горючего материала на участках до и после пожара в одноименных типах леса.

На основании измерений были подсчитаны объемы всей стоящей на корню и лежащей на земле древесины, учтено также количество средних и крупных сучьев. Запасы напочвенных горючих материалов (трава, опад, подстилка и мелкие сучья) были определены в результате учета их на площадках в 1 м<sup>2</sup>. Таких площадок на каждом опытном участке закладывалось не менее 15. Площадки размещались через каждые 10 м вдоль стороны опытного участка. По образцам горючих материалов определялась влажность, что в дальнейшем дало возможность вычислить запасы горючих материалов на 1 га в абсолютно сухом состоянии.

После пожара количество горючих материалов, особенно опада и сучьев, на участках, занимающих повышенные местоположения, резко уменьшается.

Сучья и опад сгорают при весенних пожарах соответственно на 60—80%, подстилка в связи с ее высокой влажностью чаще всего не сгорает.

Напочвенный покров в меньшей степени сгорает в шелкопрядниках, расположенных в микроповышениях. Здесь даже в летние засушливые периоды горение идет менее интенсивно и напочвенный покров сгорает только на 30—60%.

Аналогичное явление наблюдается и в соотношении количества сгорающей древесины. В наиболее производительных древостоях по микроповышениям сгорает около 60% древесины, в менее производительных, на мокрых почвах, — лишь 40%. Разница объясняется отчасти тем, что на почвах с влажностью выше оптимальной для развития грибов, поврежденные древостои разрушаются медленнее и горят хуже.

Пожары в шелкопрядниках существенно отличаются от обычных лесных пожаров. Благодаря большой массе сгорающей древесины при пожаре выделяется много тепла. Продукты сгорания древесины и нагретый воздух образуют мощный восходящий поток высотой 1,5—2 км. В нижней части скорости восходящего потока большая и, по некоторым наблюдениям, он уносит вверх горящую кору деревьев и мелкие ветки, которые



Рис. 2. Шелкопрядник в ельнике мшистом, испытавший несколько лет назад пожар. Мелецкое лесничество, кв. 50

ветер забрасывает вперед перед фронтом пожара на расстояние до 4 км. Это чрезвычайно ускоряет распространение пожаров и они охватывают большие площади. Поэтому гасить пожары, возникшие в шелкопрядниках, исключительно трудно.

Рис. 2 дает представление о шелкопрядниках, выгоревших в 1961 г., т. е. их состояние на второй год после пожара.

По наблюдениям в течение второй половины пожароопасного сезона за погодой, за изменениями влажности и загораемостью напочвенного покрова в лесу, в шелкопрядниках, а также на горях в шелкопрядниках, можно отметить следующее:

а) в пожароопасный сезон 1962 г. комплексный показатель в районе расположения опытных участков достигал 5000 *млб/град*. Вследствие этого и чередования дождливых и сильно засушливых периодов на территории Мелецкого лесничества пожары возникали с апреля по август включительно;

б) в течение второй половины пожароопасного сезона загораемость участков различных категорий и, в частности в шелкопрядниках, появлялась при сравнительно низких значениях комплексного показателя (табл. 6). При комплексном показателе, достигающем 2600 *млб/град*, в конце июля и в августе огонь мог распространяться по напочвенному покрову в осиннике кисличником. Весной же (в первой декаде июня) огонь здесь не распространялся и пожар обходил такие участки стороной.

в) на участках неповрежденного темнохвойного леса в июле и августе только при показателе 2700 *млб/град* огонь мог распространяться от сильного источника, например от костра, от кромки пожара из шелкопрядников;

г) при пожарах в шелкопрядниках мертвый лес сгорает примерно на 50%, причем преимущественно мелкая и наиболее разложившаяся его часть, находящаяся на земле. После пожара территория становится менее пожароопасной и на ней применимы обычные средства и способы тушения лесных пожаров.

### **Лесовозобновление в шелкопрядниках и на горях в них**

В литературе имеется ряд указаний о ходе возобновления леса на площадях, обследованных через 2—3 десятилетия после повреждения их сибирским шелкопрядом и после пожаров.

Вот как описывает эти процессы в бассейне Ангары профессор Поварницын (1934): «Возобновление кедром громадных площадей в районе р. Большой и Малой Белой почти совершенно не происходит, и их надо считать безнадежными; без вмешательства человека эти гари еще много десятков лет останутся необлесившимися. На высоких местоположениях даже отсутствует подрост березы; только в долине р. Белой и ее притоков возобновление происходит через березу.

Громадные площади усохших насаждений, имеющих иногда возраст 30—50 лет, остаются необлесившимися. 95% сухих кедровников в смысле возобновления в ближайшем будущем надо считать безнадежными, если не принять мер к искусственному возобновлению их посредством посева семян кедра».

Особенно неблагоприятными факторами, замедляющими процесс возобновления, по заключению автора, являются повторные пожары, уничтожающие появившийся подрост кедра.

Только там, где остались отдельные группы или небольшие участки зеленого кедра, возобновление происходит удовлетворительно от стен этих участков.

По заключению Н. Ф. Реймерса (1958), обследовавшего высокогорные районы Восточных Саян и Химар-Дабана, кедр в массивах, уничтоженных сибирским шелкопрядом, возобновляется успешно. Смены пород в высокогорных районах не происходит, и уже через 40—50 лет после гибели леса вновь образовавшийся молодняк хорошо плодоносит. В высокогорных районах даже беглые пожары сжигают бедный органический слой, выгоревшие участки зарастают вейником, а позднее малиной и пустуют многие десятки лет.

В. А. Дудин (1958) отмечает успешное возобновление шелкопрядников Долгаунского очага 1914 г. (Томская обл.) хвойными через смену пород. Процесс восстановления шелкопрядников в указанном очаге выглядел следующим образом; через 7—10 лет после усыхания начал появляться самосев лиственных пород, через 15—20 лет восстановление лиственными породами заканчивалось. Через 25—30 лет под пологом лиственничного молодняка начали появляться пихта и ель. Возобновление на гарях, по заключению автора, везде отсутствует. Площади, где не было пожаров, восстановились полностью осиной и березой.

Д. Н. Фролов (1938) отмечает, что пространства с погибшими от шелкопряда кедровыми насаждениями уже через 10 лет в условиях Восточной Сибири представляли пустыню с кое-где торчащими стволами мертвых деревьев. Естественного возобновления хвойных нельзя ожидать здесь минимум в течение столетия.

В. В. Попов и М. П. Иващенко (1948), изучавшие вопросы восстановления пихтовых лесов Тубинского массива (Восточный Саян), погибших от повреждения пихтовой пяденицей, отмечали, что количество подроста зависит от степени повреждения древостоев. Площади с совершенно усохшими древостоями полностью лишены подроста пихты и кедра. В лесах, поврежденных в средней степени, т. е. количеством усохших деревьев около 50%, хвойный подрост сосредоточен в наиболее сохранившихся частях. Авторы заключают, что процессы восстановления пихтарников займут значительное время, так как имеющийся березовый подрост не образует сомкнутых древостоев, под которыми возможно заселение пихты. Однако «недостаточное в настоящий момент количество возобновления на поврежденных площадях не дает права делать заключения о том, что образовавшиеся пустыри останутся необлесенными».

Как показали результаты последующего обследования Тубинского массива (Козловский, 1960), возобновление на поврежденных участках идет слабо. Увеличение количества подроста в поврежденных древостоях за 10 лет незначительное и исключительно за счет лиственных. Там, где площадь пройдена пожаром, хорошо возобновляются лиственные породы, в основном береза. Молодые березняки на горях отличаются интенсивным ростом и быстрым смыканием, которое наблюдается обычно в возрасте 5—8 лет. В качестве меры, содействующей естественному возобновлению, автор предлагает сплошное выжигание живого напочвенного покрова.

Таким образом, в оценке процессов восстановления поврежденных лесов имеется некоторая неясность и разноречивость. В одних случаях исследователи отмечают безнадежность лесовосстановления естественным путем (Поварницын, Фролов), в других подчеркивается успешность лесовозобновления поврежденных кедровников (Реймерс).

По нашим наблюдениям, относящимся к смешанным темнохвойным лесам правобережной части среднего течения Чулыма, процессы возобновления идут иначе.

В шелкопрядниках быстро развиваются травы и подлесочные кустарники. В травяном покрове исчезают представители трав темнохвойного леса и обильно разрастаются растения, типичные для открытых пространств. Здесь мы всюду встречаем различные виды вейника, осок, кипрей, крапиву, подмаренник северный, щитовник игольчатый, борец.

Из кустарников особенно сильно разрастается спирея рябинолистная, малина лесная, черная и красная смородина. На участках шелкопрядников, расположенных в поймах рек, разрастаются дерн сибирский, рябина лесная, смородина. В травяном покрове пойменных шелкопрядников, достигающем высоты 2 м, отдельные синузии образуют вейник и осока.

По нашим данным, масса отмершей травы в шелкопрядниках в 4 раза больше, чем в участках неповрежденного леса. В шелкопрядниках, пройденных пожаром, масса травяного войлока только через 2 года после пожара почти достигает ее величины на площадях, не пройденных огнем. В первый год после майско-июньских пожаров травяной покров на горях редкий.

С целью общей характеристики лесовосстановительных процессов на обследованной территории было учтено количество подроста под пологом темнохвойных лесов, в шелкопрядниках и на горях в них. Учет возобновления проводился по методике А. В. Побединского (1962). Характеристика естественного возобновления получена в результате сочетания учета возобновления на пробных площадях и предшествующего ему глазомерного описания при маршрутных ходах.



Таблица 7

## Характеристика возобновления на опытных участках

Участок	Тип леса или категория участка	Порода	Возраст, годы	Высота, м	Кол-во на 1 га, шт	Состояние подроста	Оценка возобновления
1	Ельник мшистый	Е	20—35	1,0—2,5	882	Угнетен Удовлетворительное Удовлетворительное	Хорошее
		П	3—15	0,5—6	9703		
		К	3—5	1—2	441		
2	Шелкопрядник в ельнике мшистом	Возобновление отсутствует					Неудовлетворительное
3	Гарь в шелкопряднике ельника мшистого через 2 года после пожара	Б	1—2	0,5	2000	Хорошее	Неудовлетворительное
		Ос	»	0,5			
4	Ельник травяно-болотный	П	10—25	0,5—1	433	Угнетен	Неудовлетворительное
5	Шелкопрядник в бывшем ельнике травяно-болотном	Е	10—15	0,5—1	133		
6	Гарь в шелкопряднике ельника травяно-болотного	Ос	1—2	0,2—0,5	1200	Хорошее	Неудовлетворительное
		Б	1—2	0,2—0,3	1500		
7	Пихтач кустарниково-мшистый, неповрежденный по периферии шелкопрядников	П	5—40	0,5—2	25066	Хорошее » » »	Хорошее
		Е	15—35	0,5—3	5500		
		К	5—15	0,5—1	2000		
		Б	5—15	0,5—1	500		

В табл. 7 приводятся данные учета возобновления на пробных площадях. Оценка успешности возобновления сделана по шкале Крылова (1958) для групп лесных формаций Западной Сибири. Как видно из табл. 7, весьма успешное возобновление хвойных пород наблюдается на участках, неповрежденных сибирским шелкопрядом и расположенных по периферии очагов (участки 1, 7). На гарях 1—2-летней давности в шелкопрядниках отмечается появление возобновления лиственных пород, хотя еще и в небольшом количестве (участки 3, 6). В шелкопрядниках же (уч. 2 и 5) возобновления нет.

Резюмируя изложение о возобновлении леса, можно указать следующее:

а) в насаждениях темнохвойных пород, не поврежденных шелкопрядником, имеется обильный подрост хорошего состояния. Шелкопряд вместе с древостоем уничтожал подрост

темнохвойных пород, поэтому в шелкопрядниках 5—10-летней давности встречаются лишь единичные экземпляры подростка лиственных, возобновления же хвойных нет. Только в участках, частично поврежденных вторичными вредителями, подрост хвойных очень обильный и хорошего состояния. Такие участки каймами различной ширины располагаются по периферии шелкопрядников. Подрост хвойных сохранился также в понижениях микрорельефа, где древостои погибли от вторичных вредителей.

б) в шелкопрядниках опад травы, накапливающийся в течение ряда лет, образует мощный слой подстилки (травяной войлок), препятствующий возобновлению. Поэтому возобновление этих площадей темнохвойными станет возможным при условии их обсеменения только после смыкания лиственных и изменения напочвенного покрова.

в) после пожаров в шелкопрядниках в первые два года участки со степенью покрытия травяной растительностью 0,6—0,7 чередуются с участками, имеющими степень покрытия травянистой растительностью 0,1—0,2. В этот период возникают условия, благоприятные для семенного возобновления лиственных и хвойных пород.

г) после пожаров в шелкопрядниках возобновление осиной и березой порослевого происхождения усиливается. Следует ожидать, что смыкание полога из лиственных и появление подростка хвойных при этом может наступить в более короткий срок, чем без содействия огня. Поэтому ранние пожары в шелкопрядниках можно считать фактором, благоприятствующим восстановлению лиственного, а затем и хвойного леса.

### Выводы

1. В XX столетии массовое размножение сибирского шелкопряда на территории Западной Сибири наблюдалось в 1909, 1914, 1917, 1920—1924, 1942—1946, 1952—1957. Особенно большой по масштабу распространения и катастрофичности последствий была последняя (1952—1957 гг.) вспышка размножения этого опасного вредителя, приведшая к усыханию темнохвойных равнинных лесов Западно-Сибирской низменности на площади около 4 млн. га. По периферии очагов шелкопрядников площади усохших лесов продолжают увеличиваться в результате деятельности вторичных вредителей, особенно усачей.

2. Темнохвойные леса, поврежденные сибирским шелкопрядом, на указанной территории не имеют оставшихся живых хвойных деревьев и вывалены на 50—80%. В лиственно-хвойных лесах хвойные погибли на 100% и вывалены на 20—40%. К настоящему времени шелкопрядники представляют собой территорию, захламленную мертвым лесом.

3. Древостой хвойных, усохшие после нападения сибирского шелкопряда, обработаны стволовыми вредителями и древесина их непригодна для заготовки деловых сортиментов. Мертвые деревья пихты очень сильно поражены грибами, несколько меньше поражена ель и в лучшем состоянии кедр. У пихты и ели преобладают II и III стадии гнилей, поэтому древесина этих пород не пригодна даже для химической переработки известными в настоящее время методами.

4. Из мертвой и гнилой древесины в шелкопрядниках возник комплекс горючих материалов, который вследствие своей структуры, состояния и большого количества создал высокую пожарную опасность на всей площади усохших лесов. В течение 1961—1962 гг. большая часть наиболее пожароопасных шелкопрядников уже пройдена пожарами. Поэтому пожароопасность рассматриваемой территории значительно понижена. Наибольшая загораемость шелкопрядников наблюдается весной. Летом загораемость их значительно снижается и они могут гореть только в очень засушливые годы. При показателе засухи 3000 млб/град и более, в июле и в августе, пожары могут распространяться среди шелкопрядников, под пологом куртин из лиственных пород, а также в темнохвойных лесах.

5. При пожарах в шелкопрядниках мертвый лес сгорает на 50%, преимущественно мелкая и наиболее разложившаяся его часть. Пониженные места огонь обходит и имеющийся на них тонкомер и подрост хвойных сохраняется. После пожара ускоряется вывал сухостойного леса, интенсивнее идет порослевое возобновление лиственных, территория становится менее пожароопасной. Отрицательным последствием пожаров является гибель деревьев лиственных пород, сохранившихся среди шелкопрядников, хотя в данных районах промышленного значения они в настоящее время не имеют. При пожарах повреждаются опушки куртин лиственного леса и уничтожается подрост хвойных в каймах шелкопрядников.

6. В настоящее время шелкопрядники зарастают сплошь кустарниками и травой, реже порослью березы и осины. Возобновления хвойных пород на большей части площади нет. Восстановление хвойного леса на шелкопрядниках без пожаров возможно только через смену пород. Пожары в шелкопрядниках ускоряют этот процесс, увеличивая интенсивность появления порослевого возобновления лиственных пород.

7. Анализируя результаты проведенных наблюдений в целом, мы приходим к заключению о целесообразности применения планового выжигания шелкопрядников в участках, где преобладала пихта и ель и где использование древесины низких технических качеств экономически бесперспективно.

Такое выжигание, дифференцированное в каждом конкретном случае по местным почвенно-грунтовым и метеорологиче-

ским условиям, по сезону и времени его проведения в зависимости от доли участия в составе темнохвойных пород, будет содействовать ускорению ликвидации захламленности территории, понижению ее пожароопасности, ускорению возобновления листовых пород, лесопатологическому оздоровлению местности и восстановлению продуктивности лесных площадей поврежденных шелкопрядом.

### Л и т е р а т у р а

- Дудин В. А. Проблема использования и восстановления шелкопрядников в Томской области.— Тр. по лесному хозяйству Сибири, 1958, вып. 4.
- Журавлев Г. П. О сроках эксплуатации древостоев, поврежденных сибирским шелкопрядом. Поронайск, 1958.
- Ивлиев Л. А. О факторах, определяющих динамику усыхания очагов сибирского шелкопряда на Дальнем Востоке.— Вопросы сельского и лесного хозяйства Дальнего Востока, 1957, вып. 2.
- Ивлиев Л. А. О рациональном использовании усыхающих древостоев в очагах сибирского шелкопряда.— Лесное хозяйство, 1958, № 6.
- Курбатский Н. П. Методика определения пожарной опасности в лесах. Л., Изд-во ЦНИИЛХ, 1957.
- Кутузов П. К. К проблеме использования сухостоя в лесах Сибири.— Лесное хозяйство, 1956, № 5.
- Крылов Г. В., Потапович В. М., Кожеватова Н. Ф. Типы леса Западной Сибири. Новосибирск, 1958.
- Козловский Д. Р. К характеристике состояния лесовосстановления в Тубинском лесном массиве.— Тр. Сибирского технологического ин-та, 1960, вып. XXI.
- Кондаков Ю. П. О биоэкологии сибирского шелкопряда в пихтовых лесах Красноярского края.— Ученые записки Красноярского Государственного пединститута, 1957, 10.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов, Красноярск, 1962.
- Поварницын В. А. Леса и лесовозобновление в бассейне рек Белой в Восточных Саянах.— Тр. Совета по изучению производительных сил АН СССР, серия Сибирская, 1934, вып. 7.
- Попов В. В., Иващенко М. П. К вопросу восстановления пихтовых лесов Тубинского массива.— Тр. СибНИИЛХ, 1948, вып. 5.
- Реймерс Н. Ф. Уничтожение сибирского шелкопряда зверями и птицами, заселяющими кедровые леса, и восстановление шелкопрядников и гарей.— Тр. по лесному хозяйству Сибири, 1958, вып. 4.
- Сokolov П. И. Ботанико-географический очерк восточной части Маринско-Чулымской тайги.— Лесной журнал, 1902, вып. 5.
- Флоров Д. Н. Сибирский шелкопряд в Восточной Сибири. Иркутск, 1938.
- Цехановский А. И., Петров М. Ф. Использование древостоев, поврежденных сибирским шелкопрядом.— Лесное хозяйство, 1958, № 1.
- Энгельфельд В. А. О лесах Западной Сибири. СПб., 1888.

## ЗАРАСТАНИЕ ГАРЕЙ В КЕДРОВНИКАХ ЗАПАДНОГО САЯНА

На территории Западного Саяна ежегодно повреждаются огнем значительные площади лесов. Так, средняя горимость лесов Танзыбейского леспромхоза, где проводились наши исследования, составила за 1956—1959 гг. 0,1% площади лесного массива с колебаниями по годам от 0,02 до 0,38%, а горимость более 0,1% оценивается, по классификации Г. А. Мокиева (1958) как высокая. В результате ежегодных пожаров на территории Танзыбейского леспромхоза накопились площади горельников и гарей в количестве более 100 тыс. га.

Задачей нашей работы было выяснить в какой-то мере судьбу лесных площадей, пройденных огнем, т. е. установить, насколько чувствительны леса разных типов к пожарам, как идут процессы зарастания гарей, при каких условиях гари могут успешно возобновляться лесом и что препятствует их возобновлению. Работы велись комплексным методом специалистами трех лабораторий Института леса и древесины: лесной пирологии (М. А. Софронов), лесной типологии (Т. С. Кузнецова) и лесного почвоведения (М. П. Смирнов).

### Лесопожарные особенности кедровников Западного Саяна

Объектом наших исследований в 1960 г. были площади гарей в кедровниках, расположенные на северном макросклоне Западного Саяна в среднем темнохвойном подпоясе пихтово-кедровых лесов (абсолютные высоты 500—900 м). Кроме того, в 1961 г. были проведены маршрутные обследования гарей в высокогорье на южном макросклоне Саян, (абсолютные высоты 900—1700 м).

Горельники и насаждения послепожарного происхождения распределены в горах крайне неравномерно. Так, на южном склоне почти невозможно найти участок леса без следов пожара; на северном склоне (среднегорье) гари встречаются значительно реже и тянутся полосами лишь по верхней части склонов

южной и западной экспозиций. Это различие в распределении гарей обусловлено тем, что в поясе среднегорья на северном макросклоне преобладают типы леса высокотравно-папоротниковой группы. Пожары в них возникают лишь ранней весной и осенью. В высокогорье же климат холоднее, вследствие чего там преобладают кедровники зеленомошной группы типов, которые могут гореть и летом в засушливые годы. Но годы с сухим летом редки (один раз в 10—20 лет), поэтому в лесах Западного Саяна более 80% пожаров приходится на весну и на осень. Весенние и осенние лесные пожары распространяются преимущественно по южным и западным склонам. Кедровники занимают именно эти, наиболее сухие склоны, на влажных же северных чаще встречаются пихтачи. Поэтому от лесных пожаров страдают в первую очередь насаждения кедра.

В отечественной литературе почти все исследователи отмечают, что кедр неустойчив против лесных пожаров. Так, В. Родзевич (1898) писал, что на Алтае наиболее чувствительны к огню ель и кедр. Там, где встречаются следы пожара, ель и кедр из состава насаждения исчезают. В. В. Сапожников (1949) пришел к убеждению, что на Алтае нахождение лиственницы высоко в горах зависит от вторичных причин, а именно — от большой чувствительности кедр к огню.

Н. И. Сементьев (1916) и Б. Н. Городков (1916) сделали вывод, что в Западной Сибири кедровники сильно страдают от систематических пожаров. К этому пришел и И. П. Горчаковский (1949), исследуя растительность южного Урала.

О лесном пожаре, как основном факторе, препятствующем широкому расселению кедр, писали исследователи Восточной Сибири: С. С. Ганешин (1910), С. Е. Кучеровская (1912), Я. Я. Васильев (1933), В. А. Поварницын (1944). На Дальнем Востоке, как отмечает А. М. Стародумов (1957), особенно сильно страдают от пожаров кедровники, занимающие склоны южной экспозиции и вершины невысоких гор. И. С. Мелехов (1947) пишет, что пожарную опасность в кедровых лесах нужно считать более высокой, чем в ельниках.

Наши исследования в Западном Саяне подтвердили, в общем, слабую устойчивость кедр против пожара. Однако отношение кедр к огню не постоянно и изменяется в зависимости от климатических и почвенных условий, типа леса и т. д. Например, на северном склоне кедр погибает даже при слабом низовом пожаре, а на южном склоне он по пожароустойчивости мало уступает лиственнице. Там часто встречаются живые кедр со следами ожогов от двух-трех пожаров. На склонах северных экспозиций, где сила пожаров слабее, встречаются участки кедровников, пройденных огнем, но не погибших.

Некоторые авторы отмечают восстановление кедровников через стадию березняка (Колесников, 1956), но наблюдаются слу-

чаи восстановления кедровых насаждений и без смены пород (Солодухин, 1956; Реймерс, 1958). В Прибайкалье появление на горях кедрового самосева обуславливается, прежде всего, характером послепожарной растительности. Семена кедр заносят в горельники кедровки, которые избегают участков, занятых густой и высокой травяной растительностью с господством вейника (Реймерс, 1958).

Вывод о решающем влиянии дерновинно-злаковой растительности на возобновление кедр подтверждается и нашими наблюдениями в Западном Саяне. Так, в высокогорье на южном склоне, где злаковая растительность на горях развивается слабо, возобновление протекает успешно. Участки с плохим возобновлением редки. Больше половины гарей возобновляется кедром и лиственницей без смены пород. Среди спелых кедрачей много одновозрастных древостоев послепожарного происхождения. На участках бывших гарей встречаются кедровники 30—40 лет.

В среднегорье, на северном склоне, где гари в кедровниках быстро зарастают вейником тупоколосковым высотой более 1 м, кедр на горях возобновляется неудовлетворительно или слабо. При восстановлении леса на участках гари характерна более или менее продолжительная стадия березняка.

### Характеристика гарей в среднегорье

Детальное обследование гарей с изучением динамики травяного покрова и возобновления проведено нами осенью 1960 г. На выгоревших участках были заложены серии пробных площадей. В однотипных соседних участках, не тронутых огнем, закладывались контрольные пробные площади. Исследованы гари разных лет и на склонах разных экспозиций (см. схему, рис. 1). На пробных площадях проводилась следующая работа.

1. Описание геоморфологических условий.
2. Описание почв.
3. Таксация древостоя со сплошным пересчетом растущих и сухостойных деревьев. На горях восстанавливалась примерная таксационная характеристика древостоя до пожара путем таксирования оставшихся живых деревьев, сухостоя, послепожарного валежа. Год пожара определялся по годичным кольцам на живых деревьях, имеющих пожарные подсушины.
4. Описание и учет возрастной структуры подроста и самосева. Для этого на каждой площади закладывались по два ряда из 10 учетных площадок, каждая по 2×2 м;
5. Описание подлеска на пробных площадях.
6. Описание травяного и мохового покрова, с определением обилия по шкале Друде и проективного покрытия по подъярусам (одновременно с пересчетом возобновления на площадях).

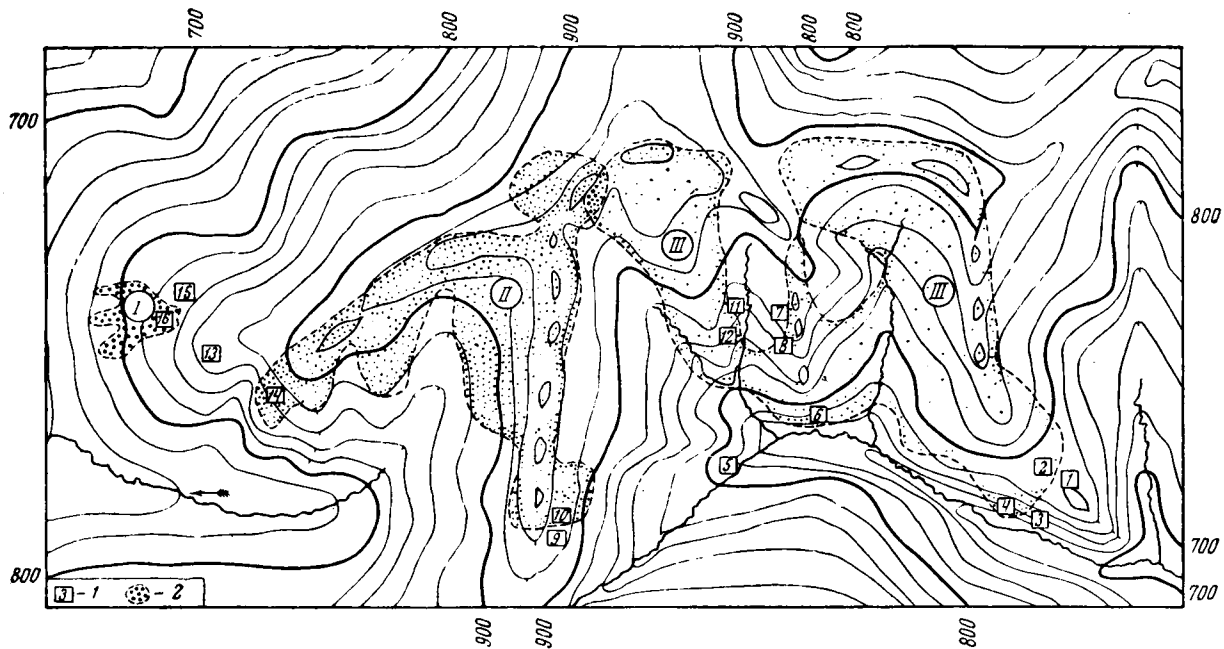


Рис. 1. Схема расположения гарей и пробных площадей

*I* — пробные площади; *2* — участки гарей; *I* — горельник: 1960 г., май; *II* — гарь 1953 г., сентябрь; *III* — гарь 1945 г.



Как и другие исследователи, И. С. Мелехов (1947), Е. Д. Солодухин (1958), И. П. Щербаков и Р. В. Чугунова (1960), при характеристике гарей мы учитываем три основных показателя;

- а) тип леса, бывший до пожара;
- б) степень повреждения древостоя, зависящую от силы пожара и характеризующуюся количеством сухостоя и валежа;
- в) давность пожара или стадию зарастания гари.

На гарях, обследованных нами, отмечены следующие бывшие до пожара типы леса:

- 1) кедровник высокотравно-щитовниковый (пр. пл. 1, 2);
- 2) кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (пр. пл. 3, 4, 7—16);
- 3) кедровник вейниково-осочковый (пр. пл. 5, 6).

Подробная характеристика типов представлена в табл. 1. Степень повреждения на всех участках одинаковая: древостой погиб в результате низовых пожаров. На гари выделены участки, горевшие осенью 1945 г., осенью 1953 и весной 1960 г. (рис. 1).

Почвы обследованной территории — горные дерново-лесные и горные дерново-слабоподзолистые, щебнистые на хлоритовых сланцах. По сравнению с почвами под негоревшим лесом, почвы гарей отличаются большей плотностью и неоднородной окраской верхнего горизонта (почвенная масса которого нередко нарушена в результате перемешивания), наличием обугленных органических остатков и меньшим количеством гифов грибов. Кроме того, почвы гарей очень щебнисты (табл. 2). На свежей гари отмечены следы эрозии — скопления щебня в виде полос, вытянутых вниз по склону по линиям водотоков.

Химические свойства почв гарей и аналогичных почв под лесом также различны. В почвах гарей, за небольшим исключением, содержание гумуса понизилось. При этом, на более старых гарях, очевидно, в результате усиления дернового процесса, иногда наоборот, отмечается возрастание количества гумуса. Однако эти изменения в содержании гумуса не достигают значительных величин. Почвы гарей, по сравнению с почвами под лесом, имеют относительно кислую реакцию и более высокую степень насыщенности основаниями, в них больше подвижного калия и, за некоторым исключением, фосфора (табл. 3 и рис. 2).

Наши данные, относящиеся к горным районам Сибири, согласуются с результатами, которые были получены ранее другими исследователями при изучении почв гарей в равнинных лесах Европейской части СССР. Например, в работах Н. Н. Степанова (1925), А. Г. Трутнева и В. Н. Былинкиной (1951) также отмечалось, что под влиянием лесных пожаров происходит возрастание величин рН и увеличение степени насыщенности почв основаниями.

Из сравнения между собой гарей различной давности вытекает, что почвы однолетней и семилетней гарей отличаются

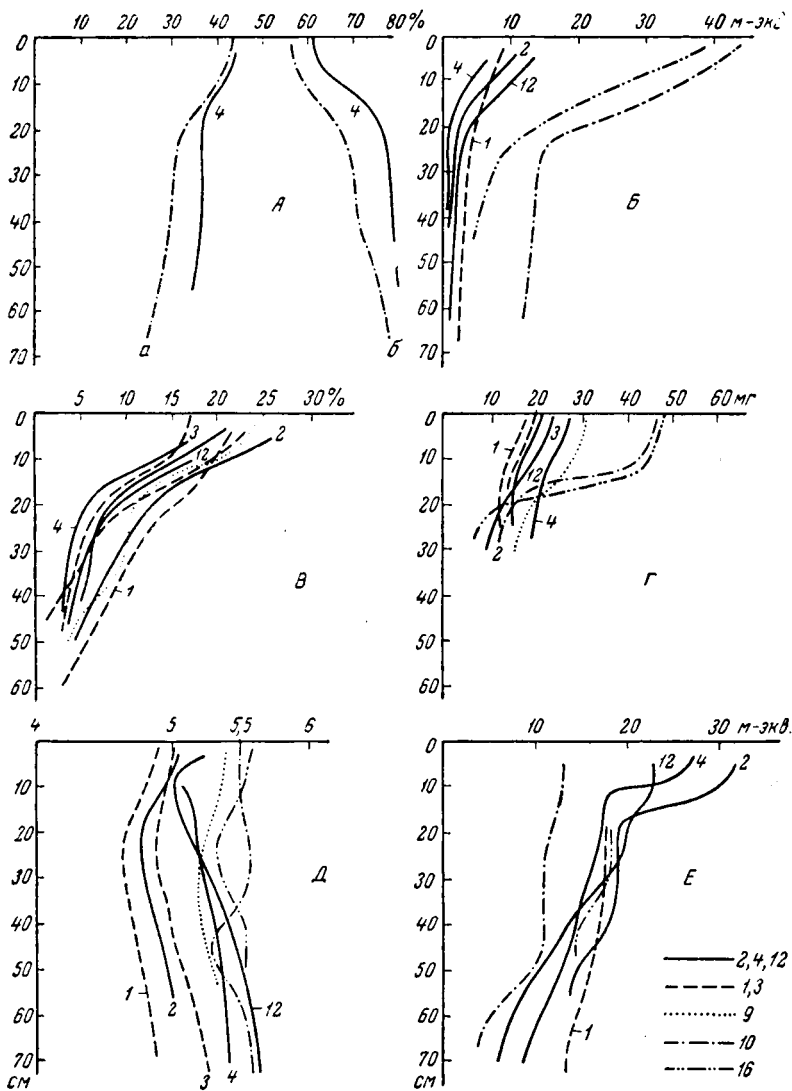


Рис. 2. Кривые распределения по почвенному профилю

А — физической глины (а) и скелета (б); Б — суммы обменных оснований; В — гумуса; Г — подвижного калия; Д — рН (водный); Е — гидролитической кислотности. Пробные площади: 2, 4 и 12 — 15-летние гары; 1 и 3 — контроль к 15-летним гарям; 10 — 7-летняя гарь; 9 — контроль к 7-летней гары; 16 — свежая гарь

Таблица 1

**Характеристика типов леса**  
(средний темнохвойный подпояс пихтово-кедровых лесов Западного Саяна)

Тип леса	Местоположение	Почвы	Состав	Бонитет запас, м <sup>3</sup> /га	Возобнов- ление, тыс. га	Подлесок	Напочвенный покров	Средние запасы горючих ма- териалов в абс. сухом состоя- нии, т/га
Кедровник высокотравно- щитовниковый	Склоны крутиз- ной 10—20°, абс. высота 500—700 м	Горная дерново- слабоподзолистая среднесуглинистая лещиная на хлоритовых сланцах	8К2П ед. Б	I (II) 400—600	К 0,5—2 П 0,7—4	Редкий из рябины, чере- мухи, бузины, спирен	Травы: крупные па- поротники, высоко- травье, вейник тупоко- лосковый, разнотравье, майник, кислица, по- крытие 80—90%. Мхи: головчатый, этажный, 10—20%	Опад—1,8 Мох—0,1 Подстилка—2,5 Трава—0,9
Кедровник осочково-высо- котравно-щи- товниковый	Средние части склонов южных и западных румбов; уклон 15—22°, абс. высота 500—700 м	То же	8К2П ед. Б	I (II) 400—600	К 0,5—2 П 1—2	Редкий или средней густо- ты из тех же видов, но боль- ше спирен и караганы	Травы: доминируют те же виды, появляет- ся осочка большехвос- тая. Мхи: покрытие 10%	Опад—1,7 Мох—0,1 Подстилка—2,4 Трава—0,9
Кедровник вейничково-осоч- ковый	Выпуклые верх- ние и средние час- ти южных и запад- ных склонов: ук- лон 15—27°, абс. высота 600—800 м	Горная дерново- слабоподзолистая, щебнистая, мало- мощная, смытая, на хлоритовых сланцах	9К1П	I (I) 500—700	К 1—8 П 2—9	Редкий из спирени, ряби- ны, бузины, караганы и пих- товой лапки	Травы: осочка боль- шехвостая, вейник ту- поколосковый, майник, кислица, щитовник игльчатый, борец, крестовник, золотая роза, покрытие 60— 70%. Мхи: Шребера, этажный, головчатый, 30—40%	Опад—1,3 Мох—1,0 Подстилка—3,2 Трава—0,5

менее кислой реакцией, гораздо большей суммой обменных оснований и меньшими значениями гидролитической кислотности и, следовательно, более высокой степенью насыщенности основаниями, чем старые 15-летние гари. В верхнем горизонте  $A_1$  у почв более свежих гарей калия и фосфора почти вдвое больше (табл. 3 и рис. 2). Так, фосфора на 15-летней гари 3,2—6,3 мг на 100 г почвы, калия 20,2—35,4 мг; в почвах же однолетней и семилетней гарей фосфора 9,1—10,7 мг, калия — 45,8—46,2 мг.

Последние различия объясняются, по-видимому, не только влиянием огня, но и разным содержанием фосфора и калия в почвах до пожара, на что указывают анализы почв с контрольных пробных площадей 1, 2, 9.

Итак, в горных кедровниках Западного Саяна, как и в равнинных лесах, под влиянием огня довольно значительно изменяются свойства лесных почв, особенно в верхнем горизонте (уменьшение кислотности, повышение насыщенности основаниями, увеличение подвижных форм калия и фосфора), которые сохраняются длительное время и все еще заметны даже через 15 лет после пожара.

Характер возобновления древесных пород на обследованных гарях различен. Восточная часть 15-летней гари, начиная с пр. пл. 8 (см. рис. 1), возобновилась удовлетворительно или слабо со значитель-

Таблица 2

Механический состав почв (по Н. А. Качинскому)

Пробная площадь	Почва	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Потеря от обработки НСЛ, %	Селет. > 1 мм	Размер частиц, мм						Фосфорная кислота > 10 <sup>0</sup> мг	
						3—1	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001		< 0,001
4	Горная дерново-лесная на деловини хлоритовых сланцев	$A_1$ $A_1B_1$ $BC$	4—9	4,97	62,1	17,00	12,93	12,71	14,75	7,44	11,55	23,62	42,61
			15—20	3,03	76,4	20,01	12,01	15,36	16,45	9,73	6,65	19,79	36,17
			40—45	2,54	77,9	16,60	11,66	15,03	20,95	9,07	10,61	16,08	35,76
10	Горная дерново-слабоподзолистая на элювии хлоритовых сланцев	$A_1$ $A_2B_1$ $B_2$ $BC$	5—10	6,26	56,8	17,40	11,51	12,49	16,06	8,00	12,82	21,72	42,54
			20—25	3,23	68,7	21,30	14,90	14,43	17,91	3,01	9,25	19,20	31,46
			40—45	2,67	71,5	18,00	16,28	17,48	18,98	5,11	9,52	14,63	29,26
			60—65	2,09	76,8	13,60	20,86	21,96	18,68	3,54	8,11	13,35	25,00

Механический состав в % на сухую навеску

Таблица 3

## Химический состав почв

Пробная площадь	Почва	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Гумус по Гюгину, %	pH потенциал		Сумма обменных оснований по Каппену, м-экв	Гидролитическая кислотность по Каппену, м-экв	Степень насыщенности основаниями, %	Подвижные	
					солевой	водный				фосфор по Кирсанову, мг	калий по Пейве, мг
1 (контроль пр. пл. 2)	Горная дерново-лесная слабо-оподзоленная тяжело-суглинистая на сильно-щебнистом элювиальном суглинке	A <sub>1</sub>	4—9	22,14	4,24	4,83	8,85	Не опр.	—	5,6	18,2
		A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	25—30	12,86	3,55	4,61	Не опр.	17,40	—	3,8	12,4
		BC	70—75	1,42	4,37	4,89	2,42	13,61	15		
2 (15-летняя гарь)	Горная дерново-лесная слабо-оподзоленная тяжело-суглинистая на элювии хлоритовых сланцев	A <sub>1</sub>	4—9	25,45	4,55	5,10	9,31	30,14	24	6,3	20,2
		A <sub>1</sub> —B <sub>1</sub>	15—20	12,62	3,52	4,75	1,72	19,42	8	3,5	14,8
		BC	50—55	3,05	4,42	5,00	Не опр.	13,73	—		
3 (контроль пр. пл. 4)	Горная дерново-лесная слабо-оподзоленная на элювио-делювии хлоритовых сланцев	A <sub>0</sub>	0—4	—	4,20	5,08	» »	Не опр.	—		
		A <sub>1</sub>	4—10	17,48	3,67	5,01	» »	» »	—		
		A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	20—25	6,05	4,21	4,87	» »	» »	—	4,5	19,8
		BC	40—45	2,64	4,25	5,08	» »	» »	—	2,7	15,4
		C	70—80	—	4,36	5,24	» »	» »	—		
4 (15-летняя гарь)	Горная дерново-лесная слабо-оподзоленная на делювии хлоритовых сланцев	A <sub>0</sub>	0—3	—	4,66	5,25	» »	» »	—		
		A <sub>1</sub>	4—9	16,76	3,76	4,96	5,66	26,70	18	4,2	25,4
		A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	15—20	4,97	4,20	5,16	Не опр.	17,95	—	2,3	22,3
		BC	40—45	2,48	4,30	5,46	» »	11,30	—		
		C	60—70	—	4,47	5,62	» »	8,64	—		

Таблица 3 (окончание)

Пробная площадь	Почва	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Гумус по Тюрину, %	рН потенциал		Сумма обменных оснований по Кашперу, м-экв	Гидролитическая кислотность по Каппену, м-экв.	Степень насыщенности основаниями, %	Подвижные	
					солевой	водный				фосфор по Кирсанову, мг	калий по Пейве, мг
12 (15-летняя гарь)	Горная дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на делювии сланцев	A <sub>1</sub>	6—11	16,76	4,08	5,02	11,38	22,69	33	3,2	22,9
		A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	17—23	7,65	3,95	5,16	2,74	19,47	12	3,7	9,4
		B <sub>2</sub>	40—45	3,67	5,00	5,31	1,01	12,10	8		
		BC	60—70		5,08	5,43	0,09	6,12	2		
9 (контроль пр. пл. 10)	Горная дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на сильнощебнистом делювиальном суглинке	A <sub>1</sub>	3—8	23,80	4,84	5,38	Не опр.	Не опр.	—	10,2	30,2
		A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	20—25	10,05	4,48	5,22	» »	» »	—	6,4	14,8
		B <sub>2</sub>	40—45	3,56	4,30	5,21	» »	» »	—		
		BC	60—70		4,61	5,63	» «	» »	—		
10 (7-летняя гарь)	Горная дерново-слабоподзолистая на элювии-делювии хлоритовых сланцев	A <sub>1</sub>	5—10	22,34	5,18	5,48	42,70	12,74	77	10,7	45,8
		A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	20—25	8,17	4,77	5,60	14,63	11,40	56	7,5	11,8
		B <sub>2</sub>	40—45	2,43	4,25	5,30	13,01	10,84	55		
		BC	60—65		4,78	5,62	11,74	3,81	76		
16 (свежая гарь)	Горная дерновослабоподзолистая среднесуглинистая на элювии сланцев	A <sub>1</sub>	0—5	22,34	4,84	5,56	39,84	Не опр.	—	9,1	46,2
		A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	20—25	7,03	4,18	5,30	9,29	17,48	35	2,8	6,4
		BC	40—45	4,86	3,96	5,51	3,89	14,42	21		

Таблица 4

## Характеристика возобновления на пробных площадях

№ пробной площади	Тип леса, экспозиция, крутизна склона	Бонитет	Количество возобновления, шт/га							Всего	Среднее	
			порода	возрастные группы, годы							возраст, годы	высота, м
				1—5	6—10	11—15	16—20	20—30	>30			
<i>А. Пробные площади с удовлетворительным возобновлением на гарях</i>												
2	Березняк кипрейно-вейниковый на 15-летней гари в кедровнике высокоотравно-щитовниковом; на водоразделе	II	К	170	840	170	—	—	20	1200	10	0,5
			П	330	—	270	—	—	20	520	10	0,5
			Б*							1520	12	6,5
			О							40	12	5,0
6	Кипрейно-осочково-вейниковая ассоциация на 15-летней гари в кедровнике вейниково-осочковом; уклон 28—30°; ЮЮВ	I	К	120	310	530	90	—	10	1060	12	0,6
			Б*							510	12	5,0
			О							100	12	5,5
4	Березняк кипрейно-вейниковый на 15-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом; ЮЗ; уклон 23°	I	К	—	150	150	—	—	—	300	10	0,4
			Б							1050	12	6,5
8	Кипрейно-осочково-вейниковая ассоциация на 15-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом; ЮЗ; уклон 20°	II	К*	—	630	870	—	—	—	1500	11	0,6
			П	—	250	1870	—	—	—	2120	14	0,8
			О							20	15	4,0

Таблица 4 (окончание)

№ пробной площади	Тип леса, экспозиция, крутизна склона	Бонитет	Количество возобновления, шт/га						Всего	Среднее		
			порода	возрастные группы, годы						возраст, годы	высота, м	
				1-5'	6-10	11-15	16-20	20-30				>30
<i>Б. Пробные площади с неудовлетворительным возобновлением на гарях</i>												
12	Кустарниково-кипрейно-вейниковая ассоциация на 15-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом; ЮВ; уклон 23°	I	К П	— —	— 120	— —	— —	— —	20 30	20 150	30 15	2,0 0,8
10	Кустарниково-кипрейно-вейниковая ассоциация на 7-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом; ЮВ; уклон; 26°	I	О	500	—	—	—	—	—	500	5	1,0
14	Кустарниково-кипрейно-вейниковая ассоциация на 7-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом; ЮЗ; уклон 25—28°	II	возобновление отсутствует									
16	Свежий горельник в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом; ЮЗ; уклон 26°	II	возобновление погубило во время пожара									

\* Восстанавливается неравномерно.



ным участием лиственных пород в составе (табл. 4), а на западной части 15-летней гари возобновление недостаточное или нет совсем.

Объяснить эти различия в ходе возобновления разной силой бывших пожаров невозможно, так как и на восточной, и на западной частях гарей были низовые пожары, причем древостой везде погиб почти полностью.

А. А. Молчанов (1934) пишет, что об интенсивности огня можно судить также по прогоранию подстилки, и что степень ее прогорания на гарях оказывает огромное влияние на успешность лесовозобновления. Однако выводы А. А. Молчанова относятся к северным мшистым лесам Европейской части Союза, где подстилка достигает значительной толщи (до 10 см и более), состоит из кислого грубого гумуса и представляет плохую среду для прорастания семян. В высокотравных же типах кедровников Западного Саяна органические остатки разлагаются настолько быстро, что запасы подстилки по весу в 5—10 раз меньше, чем в северных лесах Европейской части СССР, толщина подстилки обычно не превышает 4 см, а грубый гумус, как правило, отсутствует. Степень прогорания такой подстилки не может явиться решающим фактором в лесовозобновлении. Кроме того, толщина подстилки на гари и в лесу оказалась, по нашим данным, почти одинаковой.

Исследования показали, что на успешность возобновления на гарях в кедровниках Западного Саяна решающее влияние оказывает послепожарная травянистая растительность и, главным образом, ее I ярус.

Так, в части гарей, где было плохое возобновление (пр. пл. 10, 12, 14), масса травостоя первого яруса достигала 4,8—5,7 т/га (в сыром весе), а на возобновившейся части гарей (пр. пл. 2, 4, 6, 8) — 0,6—2,8 т/га (рис. 3 и 4).

Такую разницу в развитии травостоя на гарях нельзя объяснить различием в типах леса, потому что все пробные площади на невозобновившейся части и пробные площади 4 и 8 на возобновившейся относятся к одному типу — кедровнику осочково-высокотравно-щитовниковому. Но при сравнении древостоев, бывших на гарях до пожара, обращает на себя внимание один факт: на той части гарей, где отсутствует лесовозобновление, участие пихты в составе древостоя было несколько увеличенным, по сравнению с другой частью гарей, где возобновление имеется (табл. 5). Так, состав бывшего древостоя (средний по общему запасу, а не по ярусам) на возобновившихся пробных площадях на гарях был: 10К1П, 9К1П, 8К2П — в среднем 9К1П, а состав бывшего древостоя на невозобновившихся пробных площадях — 8К2П, 6К4П, 8К2П, 7К3П — в среднем 7К3П.

Почвы на возобновившихся и невозобновившихся участках гарей по своей морфологии резко не отличаются. Не оказалось

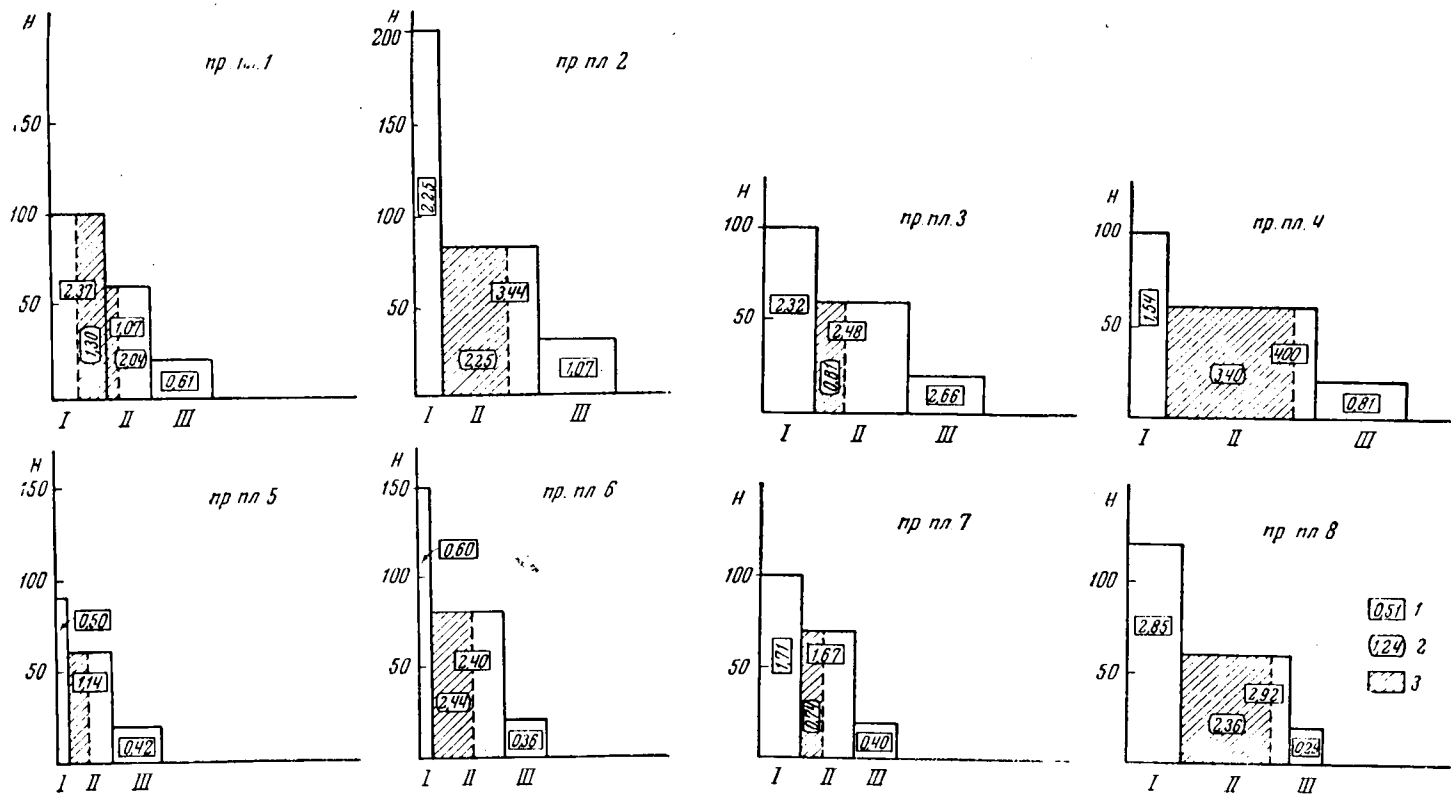


Рис. 3. Масса травостоя в сыром весе (т/га) по подъярусам на участке гарей с удовлетворительным и слабым лесовозобновлением (пр. п.л. 2, 4, 6, 8) и на контрольных пробных площадях в лесу (пр. п.л. 1, 3, 5, 7).

I, II, III — подъярусы травостоя, H — высота подъярусов, см. 1 — запас травостоя в подъярусе, т/га; 2 — запас ветки, т/га; 3 — запас ветки

Таксационная характеристика древостоя на пробных площадях

№ пробной площади	Тип леса	Бонитет	Характеристика древостоя по ярусам							
			ярус	состав и возраст	средн. высота, м	полнота	запас, м <sup>3</sup> /га		валеж, м <sup>3</sup> /га	
							растущий	сухой	до пожара	после пожара

## А. Пробные площади с удовлетворительным и слабым возобновлением на гарях

## Состав древостоя до пожара

2	Березняк кипрейно-вейниковый на 15-летней гари в кедровнике высокотравно-щитовниковом	II		9К(200) 1П(80)	23	0,6	360	—	132	156
1	Кедровник высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 2)	II		7К(240) 3П(120)	27	0,7	490	50	104	

## Древостой, бывший до пожара

6	Кипрейно-осочково-вейниковая ассоциация на 15-летней гари в кедровнике вейниково-осочковом	I		10К(180)+П(50)едБ	28	0,6	390	—	127	94
5	Кедровник вейниково-осочковый (контроль для пр. пл. 5)	I		10К(240)+П(50)	32	0,8	620	30	118	

## Состав древостоя до пожара

4	Березняк кипрейно-вейниковый на 15-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом	I	1	10К(200)	28	0,4	350	—	120	215
			2	10П(70)	12	0,3	50	—	10	30
3	Кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 4)	I	1	10К(240)	31	0,3	220	40	190	
			2	7К(80) 3П(60)	20	0,2	110	30	91	

Состав древостоя до пожара

8	Кипрейно-осочково-вейниковая ассоциация на 15-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом	II	1	10К(180)	27	0,5	390	—	120	192
			2	10П(80)	17	0,5	120	—	24	66
7	Кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 8)	II		7К(190) 3П(100)	26	0,6	370	60	160	

*Б. Пробные площади с неудовлетворительным возобновлением на гарях*

Состав древостоя до пожара

12	Кустарниково-кипрейно-вейниковая ассоциация на 15-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом	I	1	10К(160)	26	0,5	310	—	66	157
			2	10П(60)	14	0,3	70	—	25	58
11	Кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 12)	I	1	10К(200)	30	0,4	280	—	69	
			2	10П(80)	22	0,5	130	—	85	

[Состав древостоя до пожара

10	Кустарниково-кипрейно-вейниковая ассоциация на 7-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом	I	1	10К(180)	29	0,2	150	—	7	33
			2	10П(50)	12	0,8	130	—	73	40
9	Кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 10)	I	1	10К(200)	31	0,5	380	30	50	
			2	10П(60)	18	0,2	50	40	30	

Состав древостоя до пожара

14	Кустарниково-кипрейно-вейниковая ассоциация на 7-летней гари в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом	II	1	10К(150)	23	0,6	340	—	13	7
			2	10П(70)	17	0,4	100	—	92	53
15	Кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 14)	II	1	7К(160) 3П(90)	24	0,6	370	20	120	
			2	10П(45) + К	8	0,5	40	—		

Усыхающий древостой

16	Свежий горельник в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом	II		7К(140) 3П(70)	23	0,5	270	—	76	
15	Кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый (контроль для пр. пл. 16)	II		5К(240) 5П(120)	28	0,8	540	40	78	

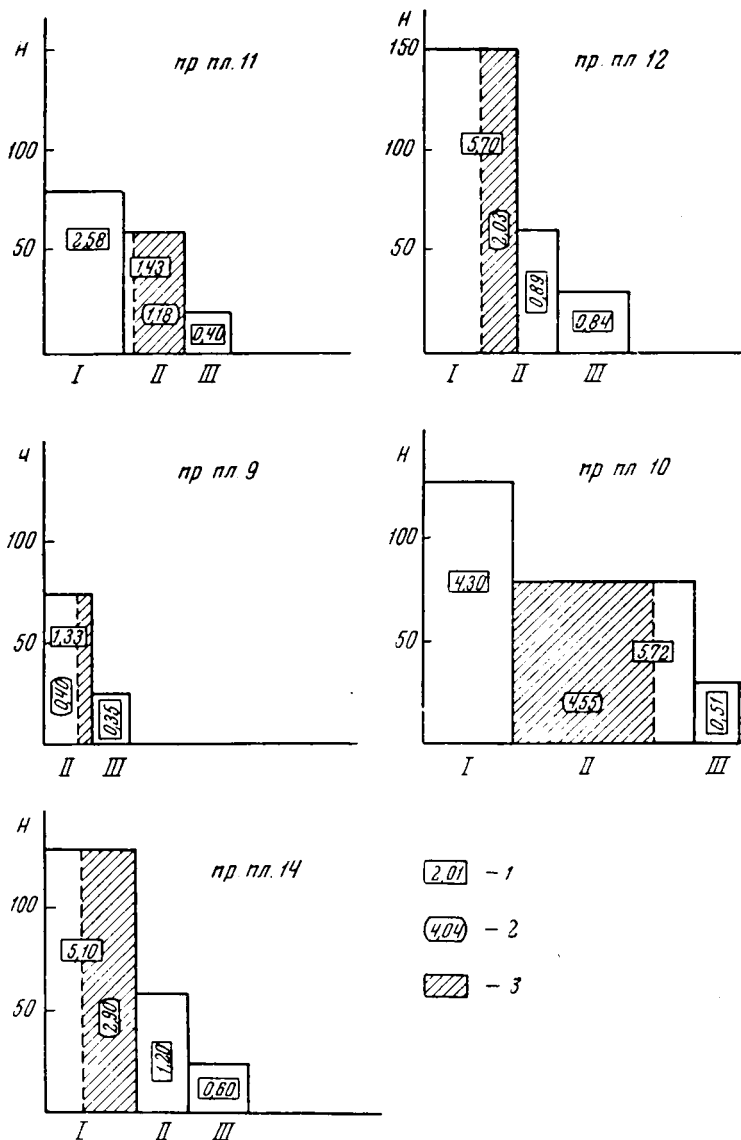


Рис. 4. Масса травостоя в сыром весе (т/га) по подъярусам на участках гарей с отсутствием лесовозобновления (пр. пл. 10, 12, 14) и на контрольных пробных площадях в лесу (пр. пл. 9, 11)  
 I, II, III — подъярусы травостоя; H — высота подъярусов см. 1 — запас травостоя в подъярусе, т/га; 2 — запас ветника; 3 — ветник

существенных различий и в механическом составе почв (почва на пр. пл. 4 лишь несколько тяжелее по составу и более щелниста—см. рис. 2, А). По содержанию гумуса они также, в общем, сходны. Однако данные химического анализа показывают, что почвы возобновившейся части гарей (пр. пл. 2 и 4) значительно беднее основаниями (см. рис. 2, Б), чем почвы невозобновившейся части (пр. пл. 10, 12, 16). Они имеют более кислую реакцию (см. рис. 2, Д) и невысокое содержание подвижного калия (см. рис. 2, Г), т. е. в целом менее благоприятны для произрастания вейника, иван-чая и других лугово-лесных трав, препятствующих возобновлению.

Указанные различия в свойствах почв возобновившейся и невозобновившейся частей обследованной территории характерны не только для горельников, но и для контрольных пробных площадей, заложенных в участках, не тронутых огнем (см. рис. 2, Б, Г, Д), т. е. они являются коренными отличиями, а не приобретенными под влиянием огня. Следовательно, можно считать, что на характер процессов зарастания и возобновления описываемых гарей решающее влияние оказали те различия в свойствах почв, которые были там до пожара.

Поскольку на возобновившихся и невозобновившихся частях описываемых гарей встречаются участки, относящиеся к одному типу леса — кедровнику осочково-высокотравно-щитовниковому, но вместе с тем имеющие некоторые отличия в свойствах почв, в составе бывшего до пожара древостоя и в характере последующего возобновления, их следовало бы считать разными типами леса или же по рекомендации сотрудников лаборатории лесной типологии Института леса и древесины — вариантами одного типа леса. Один вариант мы назовем — чистый кедровник осочково-высокотравно-щитовниковый, второй — кедровник с пихтой осочково-высокотравно-щитовниковый.

### Зарастание гарей

Последовательное описание зарастания горельников по стадиям можно дать лишь для кедровника осочково-высокотравно-щитовникового, так как пробные площади, относящиеся к этому типу леса, заложены на 1-летней, 7-летней и 15-летней гарях. Остальные два типа леса — кедровник вейниково-осочковый и кедровник высокотравно-щитовниковый представлены пробными площадями только на 15-летней гари.

После низового пожара в кедровнике, в котором деревья получили смертельные ожоги, наступает стадия «черной гари», когда идет процесс пожелтения и опадения хвои, усыхание древостоя и появление на гари травяной растительности. Стадия «черной гари» изучалась нами на примере майской гари 1960 г. (пр. пл. 16). Данная гарь представлена рядом пройденных ог-

нем участков, расположенных среди нетронутого огнем леса. За лето там вся хвоя на пихтах, поврежденных огнем, пожелтела, на кедрах же осталась еще частично зеленой. К осени появились всходы трав, среди них преобладали бальзамин и звездчатка, встречались — крапива двудомная и чистотел, всходы иванчая, пятна вейника. Проективное покрытие достигло 40%. Возобновление трав произошло отчасти за счет налета и почвенного запаса семян, отчасти вегетативно. Лесные папоротники и таежные виды еще не появились (табл. 6). Обильно возобновилась бузина; спирея средняя и рябина из подлеска выпали.

На другой части этой же гари к осени в покрове преобладал вейник, возобновившийся вегетативно, поскольку он всегда присутствует в травяном ярусе осочково-высокотравно-щитовникового кедровника, и подземные части вейника не отмирают при слабых и средних низовых пожарах. Проективное покрытие травостоя здесь также достигло 40%.

Со следующего вегетационного периода (1961 г.) наступила новая стадия: *вейниково-кипрейная*. Зарастание гари травяной растительностью еще продолжалось. К осени запас травы достиг уже 5,0 т/га (в сыром весе), в то время как на старых 15-летних гарях (пр. пл. 14) он составлял 5,8 т/га; однако на старых гарях в травостое обычно преобладает вейник, а на гари 1960 г. он полного господства пока не достиг. В течение лета 1961 г. с усохших деревьев осыпалась еще не вся пожелтевшая хвоя. Таким образом, можно считать, что в среднегорье Западного Саяна процесс полного зарастания площади гарей травяной растительностью и полное усыхание древостоя длятся примерно три вегетационных периода. Усыхающие деревья на майской гари к осени были заселены личинками усачей, которые еще не углубились в древесину, поэтому насаждение в первое лето после пожара заметно своей товарности не снизило.

К семилетнему возрасту участок *невозобновившейся* гари на месте кедровника с пихтой осочково-высокотравно-щитовникового типа представлял *кустарниково-кипрейно-вейниковую* ассоциацию (пр. пл. 10 и 14); поэтому можно предполагать, что предыдущая вейниково-кипрейная стадия длится 4—5 лет.

За 7 лет из усохшего древостоя выпало около 20% деревьев (по запасу), в том числе кедров в среднем 10%, пихты — 40%. С деревьев отваливалась часть коры, особенно с южной стороны; древесина пронизана старыми ходами усачей; ветки толщиной до 1,5 см обломаны ветром.

Возобновление кедров и пихты отсутствует. В подлеске преобладают бузина и малина. Разрастание кустарников не препятствует пышному развитию травянистой растительности, общее проективное покрытие которой достигает 100%.

За счет обильного разрастания вейника тупоколосового произошло сильное задержание почвы, препятствующее появле-

Таблица 6

Сравнительная характеристика обилия видов травяно-кустарничкового яруса на участках гарей однолетней, семилетней и 15-летней давности в кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом

Название вида	Возраст гари		
	1 год	7 лет	15 лет
Бальзамин ( <i>Impatiens noli tangere</i> ) . . . . .	cop <sup>1</sup>	sol	sol
Бор развесистый ( <i>Milium effusum</i> ) . . . . .	—	—	sol
Борец высокий ( <i>Aconitum excelsum</i> ) . . . . .	—	sol	sp—sol
Борщевик рассеченолистный ( <i>Heracleum dissektum</i> ) . . . . .	—	sol	sol
Василистник малый ( <i>Thalictrum minus</i> ) . . . . .	sol	sp	sol
Вейник Лангсдорфа ( <i>Calamagrostis Langsdorfii</i> ) . . . . .	—	sol	cop <sup>1</sup>
Вейник тупоколосковый ( <i>Calamagrostis obtusata</i> ) . . . . .	sp	cop <sup>2</sup>	cop <sup>1</sup> —sp
Вороний глаз ( <i>Paris quadrifolia</i> ) . . . . .	—	—	sol
Дудник лесной ( <i>Angelica silvestris</i> ) . . . . .	—	sol	sol
Звездчатка Бунге ( <i>Stellaria Bungeana</i> ) . . . . .	cop <sup>1</sup>	sp	sol
Золотая розга ( <i>Solidago virga aurea</i> ) . . . . .	sol	sol	sol
Кипрей, иван-чай ( <i>Epilobium angustifolium</i> ) . . . . .	sp	cop <sup>2</sup>	cop <sup>1</sup>
Крапива двудомная ( <i>Urtica dioica</i> ) . . . . .	sp	sp	—
Крестовник восьмиязычковый ( <i>Senecio octoglossus</i> ) . . . . .	sol	sp	sp
Майник двулистный ( <i>Majanthemum bifolium</i> ) . . . . .	—	—	sol
Медуница мягкая ( <i>Pulmonaria mollissima</i> ) . . . . .	sol	sp	sp—cop <sup>1</sup>
Орляк ( <i>Pteridium aquilinum</i> ) . . . . .	—	—	sp—sol
Осот разнолистный ( <i>Cirsium heterophyllum</i> ) . . . . .	—	sol	sol
Осочка большехвостая ( <i>Carex macroura</i> ) . . . . .	sp	sol	cop <sup>1</sup> —sp
Папоротник женский ( <i>Athyrium filix femina</i> ) . . . . .	—	sol	sol
Пеон ( <i>Paeonia anomala</i> ) . . . . .	sol	sol	—
Перловник поникший ( <i>Melica nutans</i> ) . . . . .	—	—	sol
Подмаренник Крылова ( <i>Galium Krylovii</i> ) . . . . .	sp	sp—sol	sol
Подмаренник настоящий ( <i>Galium rubioides</i> ) . . . . .	—	—	sol
Синюха голубая ( <i>Polemonium coeruleum</i> ) . . . . .	—	sol	sol
Скерда сибирская ( <i>Crepis sibirica</i> ) . . . . .	—	sol	sol
Фегоптерис ( <i>Dryopteris phegopteris</i> ) . . . . .	—	—	sp
Цирцея альпийская ( <i>Circaea alpina</i> ) . . . . .	—	sol	—
Черемша ( <i>Allium victoriale</i> ) . . . . .	—	—	sol
Чистотел большой ( <i>Chelidonium majus</i> ) . . . . .	sp	sol	—
Щитовник игольчатый ( <i>Dryopteris spinulosa</i> ) . . . . .	sp	sol	sol
Щитовник Линнея ( <i>Dryopteris Linneana</i> ) . . . . .	—	—	sol
Ясменник душистый ( <i>Asperula odorata</i> ) . . . . .	—	—	sol



нию и развитию возобновления древесных пород. Обильно развиваются кипрей, медуница, василистник малый, крапива двудомная. В небольшом количестве появляются щитовник игольчатый, папоротник женский. Таежные папоротники и моховой покров отсутствуют. Вследствие полного высыхания и частичного выпадения древостоя появляются лугово-лесные виды: осот разнолистный, борщевик рассеченный, скерда сибирская.

Через 15 лет после пожара в кедровнике с пихтой осочково-высокотравно-щитовниковом (пр. пл. 12) мы находим все ту же *кустарниково-кипрейно-вейниковую* ассоциацию с куртинами кустарников из рябины, бузины и черемухи. Обилие видов, стареющих подлесок, возросло: появились рябина, черемуха, красная смородина. Подлесок имеет среднюю густоту и отличается сравнительно большим участием в нем рябины сибирской (сор<sup>1</sup>). Возобновление древесных пород как лиственных, так и хвойных отсутствует.

За 15 лет из усохшего древостоя выпало 56% деревьев (по запасу), причем кедр — около 50%, пихты — около 80%. В кронах обломаны сучья толщиной до 3—4 см, у многих деревьев — даже вершины.

В травяном покрове, с проективным покрытием до 100%, все еще господствуют вейник тупоколосковый и кипрей, хотя их обилие несколько сократилось по сравнению с 7-летней гарью (табл. 6). Появились таежные папоротники (папоротник Линнея, фегоптерис) и майник двулистный; возрастает роль осочки большехвостой. Участие лугово-лесного высокотравья в сложении травостоя уменьшается. На участках 15-летней гари начинает появляться в незначительном количестве моховой покров.

Развитие растительности на возобновившейся части обследованной гари в чистом кедровнике осочково-высокотравно-щитовниковом (пр. пл. 4) идет по несколько иному пути. Через 15 лет после пожара здесь характерен 12—13-летний *березняк, кипрейно-вейниковый* с небольшими куртинами кустарников (рябины, бузины, спиреи средней). К этому времени вываливается ветром около 60% сухостоя.

Под пологом леса (пр. пл. 3) возобновление хвойных пород можно считать удовлетворительным (1000 шт. кедр, 2500 шт. пихты на 1 га), на гари же оно еще недостаточное (350 шт. кедр на 1 га, пихта отсутствует). Это связано с сильным развитием вейника, создающего неблагоприятные условия для произрастания и развития всходов. Возраст кедр на гари 10—12 лет.

На участке бывшей гари через 15 лет после пожара насчитывается уже 60% видов, общих с негоревшим участком того же типа леса. Все еще остаются в составе появившиеся после пожара: кипрей, борец вьющийся, подмаренник настоящий; еще не восстановились исчезнувшие: кисличка, незабудка лесная,

Таблица 7

Сравнительная характеристика обилия видов травяно-кустарничкового яруса под пологом леса и на участках 15-летней гари в разных типах кедровников

Название вида	Кедровник высокотравно- щитовниковый		Кедровник вейниково- осочковый		Кедровник осоч- ково-высокотра- вно-щитовниковый	
	лес	гарь	лес	гарь	лес	гарь
Бальзамин ( <i>Impatiens noli tangere</i> )	—	—	sol	—	—	sol
Бор развесистый ( <i>Milium effusum</i> )	sol	—	sol	—	sol	—
Борец высокий ( <i>Aconitum excelsum</i> )	cop <sup>3</sup>	sol	sol	sol	sp	sol
Борщевик рассеченолистный ( <i>Hera- cleum dissektum</i> ) . . . . .	sol	—	sol	—	sol	—
Василистник малый ( <i>Thalictrum mi- pus</i> ) . . . . .	sol	—	sol	—	sol	—
Вейник Лангсдорфа ( <i>Calamagrostis Langsdorfii</i> ) . . . . .	sol	sp	sol	sol	sp	sp—cop <sup>1</sup>
Вейник тупоколосковый ( <i>Calamagro- stis obtusata</i> ) . . . . .	sp <sub>gr</sub>	sp	cop <sup>1</sup>	cop <sup>2</sup>	sol	cop <sup>1</sup>
Ветреница байкальская ( <i>Anemone baicalensis</i> ) . . . . .	sol	sol	—	—	—	—
Вороний глаз ( <i>Paris quadrifolia</i> ) . .	sol	—	sol	—	sol	—
Герань белоцветная ( <i>Geranium albi- florum</i> ) . . . . .	sp	—	—	—	sol	—
Дудник лесной ( <i>Angelica silvestris</i> )	sol	sol	sol	sol	sol	sol
Живокость высокая ( <i>Delphinium elatum</i> ) . . . . .	—	—	—	—	sol	—
Звездчатка Бунге ( <i>Stellaria Bunge- ana</i> ) . . . . .	sol	sol	sol	—	—	sol
Золотая розга ( <i>Solidago virga aurea</i> )	sol	sol	sol	sp	sp	sol
Кипрей, иван-чай ( <i>Epilobium angus- tifolium</i> ) . . . . .	—	cop <sup>2</sup>	—	sp	—	cop <sup>1</sup>
Кисличка ( <i>Oxalis acetosella</i> ) . . .	sol	—	sol	—	sol	—
Крестовник восьмиязычковый ( <i>Senecio octoglossus</i> ) . . . . .	—	sol	sol	sol	sol	sol
Лилия, саранка ( <i>Lilium martagon</i> )	—	—	sol	—	—	—
Линнея северная ( <i>Linnaea borealis</i> )	sol	sol	sol	sol	sol	—
Майник двулистный ( <i>Majantneum bifolium</i> ) . . . . .	sol	sol	sol	sol	sol	sol
Медуница мягкая ( <i>Pulmonaria molis- sima</i> ) . . . . .	sol	—	sol	sol	—	sp
Молочай волосистый ( <i>Euphorbia pi- losa</i> ) . . . . .	sol	—	sol	—	sol	—
Незабудка лесная ( <i>Miosotis silva- tica</i> ) . . . . .	—	—	—	—	sol	—
Орляк ( <i>Pteridium aquilinum</i> ) . . .	—	sol	—	sol	—	sp
Осот разнолистный ( <i>Cirsium hetero- phyllum</i> ) . . . . .	sol	sol	—	sol	sol	—

Таблица 7 (окончание)

Название вида	Кедровник высокотравно- щитовниковый		Кедровник вейниково- осочковый		Кедровник осочко- во-высокотравно- щитовниковый	
	лес	гарь	лес	гарь	лес	гарь
Осочка большехвостая ( <i>Carex mac- gouga</i> ) . . . . .	—	sol	cop <sup>1</sup>	cop <sup>2</sup>	sp	cop <sup>1</sup>
Папоротник женский ( <i>Dryopteris fi- lix femina</i> ) . . . . .	sol	—	sol	sol	—	—
Папоротник мужской ( <i>Dryopteris fi- lix mas</i> ) . . . . .	—	—	sol	—	—	—
Пеон ( <i>Paeonia anomala</i> ) . . . . .	—	—	sol	—	—	—
Перловник поникший ( <i>Melica nutans</i> )	—	—	sol	—	sol	sol
Плаун одногодичный ( <i>Licopodium appotinum</i> ) . . . . .	—	—	sol	—	sol	—
Подмаренник Крылова ( <i>Galium Кры- lovii</i> ) . . . . .	sol	sol	sol	sol	sol	sol
Реброплодник уральский ( <i>Pleuros- regnum uralense</i> ) . . . . .	sol	sol	sol	sol	sol	sol
Седмичник европейский ( <i>Trientalis europaea</i> ) . . . . .	—	—	—	—	sol	—
Синюха голубая ( <i>Polemonium coe- ruleum</i> ) . . . . .	sol	—	—	—	sol	sol
Скерда сибирская ( <i>Crepis sibirica</i> )	sol	—	sol	—	sol	—
Фегоптерис ( <i>Dryopteris phegopteris</i> )	sol	sp <sub>gr</sub>	sol	sp <sub>gr</sub>	sp—sol	sp <sub>gr</sub>
Фиалка одноцветная ( <i>Viola uniflora</i> )	—	—	sol	—	sol	—
Цирцея альпийская ( <i>Circaea alpina</i> )	sol	—	sol	—	sol	—
Чемерица Лобелиана ( <i>Veratrum Lo- belianum</i> ) . . . . .	sol	—	—	—	sol	—
Черемша ( <i>Allium victoriale</i> ) . . . .	—	—	—	—	sol	sol
Чина Гмелина ( <i>Lathirus Gmelini</i> )	—	—	—	—	sol	—
Щитовник игольчатый ( <i>Dryopteris spinulosa</i> ) . . . . .	cop <sup>2</sup>	sol	sol	sol	cop <sup>1</sup>	—
Щитовник Линнея ( <i>Dryopteris Lin- neana</i> ) . . . . .	sol	sol	sol	sol	sol	sol
Ясменник душистый ( <i>Asperula odo- rata</i> ) . . . . .	sol	—	sol	—	sol	—

папоротник Линнея, вороний глаз, седмичник и другие (табл. 7). Моховой покров под пологом негоревшего леса развит незначительно, встречается пятнами в небольших западинках, в биогруппах пихтового возобновления, на валеже. На гарях моховой покров еще не развился.

Для типа леса кедровник высокотравно-щитовниковый на 15-й год после пожара характерной ассоциацией является березняк кипрейно-вейниковый в возрасте 12—13 лет со

значительно развитым подлеском из малины, бузины, рябины и спиреи средней (пр. пл. 2). В этом типе леса за 15 лет после пожара выпало около 40% (по запасу) сухостойного кедра и 60% — пихты. Сучья толщиной до 3—4 см обломаны, а кое-где — и вершины у кедров.

В травяном покрове на гари восстановилось около 50% видов, общих с негоревшими участками этого типа леса (табл. 7).

Таблица 8

Сравнительная характеристика обилия видов  
мохового яруса под пологом леса и на гари  
в кедровнике высокотравно-щитовниковом

Название вида	Лес	Гарь
<i>Hylcomium splendens</i> . . . . .	sp	sol
<i>Hypnum Schreberi</i> . . . . .	sol	sol
<i>Dicranum undulatum</i> . . . . .	—	sol
<i>Polytrichum juniperinum</i> . . . . .	—	sp <sub>gr</sub>
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> . . . . .	sp	—

Из 12 восстановившихся видов 8 — таежные: подмаренник Крылова, майник двулистный, ясменник душистый, звездчатка Бунге, папоротник Линнея, линнея северная, розга золотистая; остальные — лугово-лесные: скерда сибирская, борец высокий, вейник Лангсдорфа, щитовник игольчатый, папоротник женский. Исчезли представители влажных лугов и редколесий: чемерица Лобелиана, василистник малый, синюха, борщевик, молочай. Для таких типично таежных представителей, как кисличка, вороний глаз, мужской папоротник условия еще не сложились.

Моховой покров в своем составе уже имеет типичных представителей лесных мхов, обилие их невелико, но они начинают вытеснять пионеров гаревой растительности. В табл. 8 приводится сравнение описаний мохового покрова под пологом леса и на гари.

Возобновление участков гарей происходит за счет лиственных пород. На 1 га насчитывается 1520 экземпляров подроста березы и 500 экземпляров ивы козьей 12—13 лет. Подрост хвойных пород на гарях характеризуется сравнительной одно-

Таблица 9

Характер подроста хвойных

Порода	Количество подроста, шт/га	
	гарь	лес
Кедр	1200	1200
Пихта	520	4000

возрастностью (9—14 лет) и меньшим участием пихты в его составе, чем под пологом леса (табл. 9).

На месте *кедровников вейниково-осочкового* для гарей 15-летнего возраста характерна кипрейно-осочково-вейниковая ассоциация с групповыми зарослями бузины и спиреи средней (пр. пл. 6).

До пожара здесь рос чистый крупномерный кедр. Спустя 15 лет после пожара только  $\frac{1}{4}$  сухостоя оказалась вываленной, основная же масса усохших кедров со сбитыми тонкими сучьями и обломанными вершинами продолжает стоять.

Подрост лиственных пород на гаревых участках этого типа представлен в меньшем количестве, чем в предыдущем типе леса: березы 510, осины — 100 и ивы — 500 шт. на 1 га в возрасте 12 лет. К куртинам из лиственных пород приурочен подрост кедр и пихты: кедр — 1060 и пихты — 1500 шт. на 1 га, тогда как под пологом леса насчитывается 4700 шт. кедр и 4000 пихты на 1 га.

В травостое на гари восстановилось 40% видов, общих с негоревшими участками данного типа леса (табл. 7). Восстановившиеся и вновь появившиеся типичны для более сухих местообитаний, чем условия местопроизрастания коренного типа леса. Исчезли и не восстановились виды, характерные для лесных ассоциаций: кисличка, цирцея, плаун одногодичный, седмичник, перловник поникший, вороний глаз, папоротник мужской. При описании также не отмечены виды влажных лугово-лесных ассоциаций: лютик опушенный, василистник малый, пeon, борщевик, чемерица Лобелиана, молочай. Под пологом леса еще оставался незначительный моховой покров, на участках же гари его не оказалось совершенно.

Итак, на всех обследованных участках 15-летней гари, относящихся к трем типам леса, наблюдается распад усохшего древостоя в среднем на 40—60%. Видовое разнообразие растений травяно-кустарничкового яруса, по сравнению с коренными типами леса, уменьшается. Вследствие изменения фитоклиматической обстановки, исчезли кисличка, вороний глаз, цирцея, чина Гмелина, молочай волосистый, василистник, чемерица Лобелиана. Зато значительного развития достигают вейники (тупоколосковый и Лангсдорфа), сильно задерживающие почву.

Появление возобновления из лиственных пород (березы, осины) — решающий момент в ходе зарастания гарей. Если условия благоприятны, то лиственные породы, быстро развиваясь, затевают почву и препятствуют развитию злаков, которые начинают из травостоя выпадать и постепенно сменяются лесными видами. Отсутствие же сильного задерживания создает необходимые условия для появления возобновления темнохвойных пород.

Обобщение полученных материалов свидетельствует о своеобразии типов зарастания гарей в кедровниках Западного Саяна по сравнению с северными хвойными лесами.

А. А. Корчагин (1954), давая обзор литературы по восстановлению растительности на гарях Европейского севера, выделяет три типа зарастания гарей. Первый тип — после слабых низовых пожаров, когда сразу же начинается полное восстановление нижних ярусов лесной растительности; второй — когда восстановление нижних ярусов также начинается сразу после пожара, но при этом особенно сильно и на много лет разрастается какой-нибудь один вид, бывший здесь до пожара; третий — когда в результате сильных, чаще всего повальных пожаров происходит полная гибель всех лесных видов и вначале на гари поселяются только гаревые растения: иван-чай, вейник, щучка и другие, а появление лесных видов в покрове начинается после возобновления древесных пород.

В высокоотравно-папоротниковых кедровниках Западного Саяна процесс зарастания гарей не укладывается в схему А. А. Корчагина: он имеет черты одновременно и второго и третьего типов. На гарях разрастаются вейники, что, казалось бы, соответствовало третьему типу восстановления, однако вейник здесь — это не только послепожарный вид, но в то же время и один из постоянных компонентов травяного яруса высокоотравно-папоротниковых кедровников, уцелевший при пожаре. Быстрое разрастание вейника, как вида, бывшего в лесу до пожара, соответствует второму типу восстановления. Поэтому нам пришлось отказаться от схемы А. А. Корчагина и выделить типы зарастания гарей, характеризующиеся различными сроками появления древесного яруса после пожара.

В кедровниках высокоотравно-папоротниковой группы типов леса на северном макросклоне Западного Саяна мы выделили два типа восстановления гарей.

**Первый тип** зарастания гарей характеризуется относительно быстрым восстановлением допожарного типа леса, которое идет, как правило, через смену пород. По этому типу происходит зарастание гарей на месте чистых кедровников осочково-вейниковых, высокоотравно-щитовниковых и осочково-высокоотравно-щитовниковых, произраставших на почвах сравнительно кислых ( $\text{pH}=4,5-5,3$ ) и бедных основаниями, с количеством подвижного калия от 10 до 20 мг на 100 г почвы.

Зарастание гарей осуществляется по стадиям.

1. *Стадия «черной гари»*, во время которой происходит усыхание поврежденного древостоя и заселение гарей травяной растительностью. В это время появляются всходы бальзамина, звездчатки, крапивы, черемши, чистотела, кипрея и пятна вейника. Стадия «черной гари» продолжается один вегетационный период.

2. *Стадия кустарниково-кипрейная* длится около 5 лет. Гаре́вый участок заселяется малиной, спиреей и рябиной. В травяном покрове преобладают кипрей, осочка и вейник. Характерная особенность в том, что основную роль в сложении травостоя играет не I, а II подъярус, который имеет высоту 60—80 см и сырую массу 2,4—4,0 т/га. Масса же I подъяруса составляет всего 0,6—2,8 т/га. Через 1—2 года после пожара на гари появляется значительное количество всходов лиственных пород: березы, осины. Когда они в ходе своего развития образуют самостоятельный ярус, наступает следующая стадия.

3. *Стадия березняка кипрейно-вейникового* начинается примерно через 6 лет после пожара. К этому времени 20—30% сухостоя на гари вываливается ветром, в куртинах березняка восстанавливается близкий к допожарному травяно-кустарничковый покров, под пологом лиственных пород появляется самосев пихты и кедра. Смена березняка исходным кедровым типом леса осуществляется в течение одного поколения березового леса.

**Второй тип** восстановления гарей отличается мощным развитием послепожарной травяной растительности, которая препятствует поселению древесных пород. Поэтому восстановление допожарного типа леса длится чрезвычайно долго. Зарастание гарей по второму типу наблюдается на месте кедровников с пихтой осочково-высокотравно-щитовниковых. Для гарей этого типа характерны более богатые, по сравнению с предыдущим типом, почвы как на обожженных участках, так и в нетронутых огнем древостоях. Почвы здесь менее кислые ( $\text{pH} = 5,5\text{—}6,0$ ), богаче обменными основаниями (до 40 м-экв) и подвижным калием (до 50 мг на 100 г почвы).

Здесь мы также выделили три стадии.

1. *Стадия «черной гари»*, которая аналогична одноименной стадии в первом типе; продолжается она один вегетационный период.

2. *Стадия вейниково-кипрейная* длится 5—6 лет. Здесь на гари в сложении травостоя главную роль играет I подъярус, который достигает мощного развития: он имеет высоту 130—150 см и запас сырой массы 4,3—5,7 т/га. В составе I подъяруса доминируют вейники (тупоколосковый и Лангсдорфа), кипрей, встречаются крапива, осот и др. Кустарниковые породы, среди которых преобладают бузина, малина, спирея средняя, рябина, на этой стадии значительного развития не достигают из-за сильной конкуренции со стороны трав. По этой же причине на гари отсутствует молодняк лиственных пород и самосев пихты и кедра.

3. *Стадия кустарниково-кипрейно-вейниковая* характеризуется уже значительным ярусом из подлесочных пород, которые проходят на гари полный цикл своего развития. Подрост лиственных пород очень незначителен по количеству, самосев

темнохвойных пород почти отсутствует. Эта стадия может длиться неопределенно долго. Заращение лесом происходит очень медленно, с краев гари. При повторных пожарах на месте гари может образоваться суходольный луг.

Таким образом кедровники в темнохвойном поясе Западного Саяна, как правило, погибают в результате лесных пожаров, гари через 2 года зарастают злаками и кустарниками, лесовозобновление происходит по двум типам: в первом типе успешно через смену пород, во втором — при обильном разрастании злаков — затягивается на срок более 2—3 десятилетий.

### Л и т е р а т у р а

- Васильев Я. Я. Леса и лесовозобновление в районах Братска, Илимска и Усть-Кута.—Тр. Совета по изучению производительных сил, сер. Сибирская, 1933, вып. 2, ч. 1, Ангарская лесная экспедиция. 1931 г.
- Ганешин С. С. Ангаро-Илимский край. Предварительный отчет о ботаническом исследовании в Сибири и Туркестане в 1909 г. СПб., 1910.
- Городков Б. Н. Наблюдения за жизнью кедра в Западной Сибири.—Тр. Ботанического музея АН СССР, 1916, вып. 16.
- Горчаковский И. П. Кедр на южном Урале.—Природа, 1949, № 1.
- Колесников Б. П. Кедровые леса Дальнего Востока.—Тр. Дальневосточного филиала АН СССР, сер. бот., 1956, т. II (IV).
- Корчагин А. А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожара на Европейском Севере.—Тр. БИН АН СССР. Геоботаника, 1954, т. IX.
- Кучеровская С. Е. Растительность Ангаро-Ленского края близ Илимского тракта. Предварительный отчет о ботаническом исследовании в Сибири и Туркестане в 1911 г. СПб., 1912.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск, 1947.
- Мокеев Г. А. К вопросу о планировании противопожарных мероприятий в лесах СССР.—Вестник с.-х. науки, 1958, № 8.
- Молчанов А. А. Естественное возобновление на гарях — Лесное хоз-во и лесозащита, 1934, № 7—8.
- Поварницын В. А. Кедровые леса СССР. Красноярск, 1944.
- Реймерс Н. Ф. Облесение гарей и лесных массивов, уничтоженных шелкопрядом, в горной тайге Прибайкалья и роль позвоночных животных в этом процессе.—Бюл. МОИП, отдел биологический, 1958, вып. 4, 63.
- Родзевич В. Лесные пожары и палы.—Тр. Томского отдела Московского о-ва с.-х., кн. II, Томск, 1898.
- Сапожников В. В. Алтай. Географиз, 1949.
- Сементьев Н. И. Каинские урманы, их происхождение, настоящее и будущее. Сб. по лесному хоз-ву, Пг., 1916.
- Солодухин Е. Д. К вопросу о смене пород в широколиственно-кедровых лесах Приморского края.—Вопросы сельского и лесного хозяйства Дальнего Востока, 1956, вып. I.
- Солодухин Е. Д. Лесовозобновление на гарях в кедрово-широколиственных лесах.—Тр. совещ. по вопросам естеств. возобновления лесов Дальнего Востока, 1958.
- Стародумов А. М. К вопросу о лесных пожарах в кедрово-широколиственных лесах Дальнего Востока.—Бюл. НТИ ДальНИИЛХ, 1957, вып. 2.
- Степанов Н. Н. Физико-химические особенности почв лесных гарей.—Труды по лесному опытному делу, 1925, вып. II (66).
- Трутнев А. Г. и Былинкина В. Н. Влияние обжига на изменение свойств почвы.—Почвоведение, 1951, № 4.
- Щербаков И. П. и Чугунова Р. В. О классификации гарей в юго-западной и центральной Якутии.—Изв. Сиб. отд. АН СССР, 1960, 1.



## НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

Настоящая попытка установить закономерности в развитии пожаров выполнена попутно с испытаниями различных химических средств на тушении лесных пожаров<sup>1</sup>. Работа охватывает лишь один вид пожара — низовой и два типа леса: сосняк лишайниковый и сосняк разнотравный (с преобладанием злаков). Первый может гореть чаще остальных и является самым удобным объектом для исследований; второй горит в основном весной, но весенние пожары преобладают в Сибири. Однако количества данных по второму типу еще недостаточно для уверенных выводов.

Нашей задачей также являлась разработка методики исследований. Развитие лесных пожаров по существу процесс вероятностный, и, следовательно, чем на большем числе данных будут основываться выводы, тем точнее будет математическая модель явления. Поэтому единая и правильная методика исследований — одно из существенно важных условий. В качестве примера неудачной методики можно привести статью А. В. Линденмута (Lindenmuth, 1961), автор которой сопоставляет скорость движения фронта с метеопказателями и влажностью горючего. Метеорологические данные он берет на 1 час дня с районных метеостанций, тогда как пожары происходили в разное время и могли быть на значительном расстоянии от метеостанции. В результате он получил большее влияние на скорость движения огня температуры воздуха, чем ветра, что явно противоречит действительности.

Наиболее трудным вопросом методики в нашем случае было определение влияния разгона огня, наблюдающегося в начале опыта. Мы стремились не только получить правильные результаты, но и сохранить размер пожарищ возможно меньшим.

<sup>1</sup> Объекты и методика проведения опытов, естественно, не вполне отвечают задачам данного исследования. В лесоводственно-таксационной характеристике объектов и метеорологических условий автор, как специалист другого профиля, применил ряд методических приемов, которые не приняты среди лесоводов. Это, конечно, уже не могло быть исправлено в процессе редактирования. (*Прим. ред.*).

Попутно с определением закономерностей развития пожаров выявлялись некоторые закономерности ближайших последствий пожаров (нагар на стволах, повреждения крон). Они играют определенную роль в определении вреда для деревьев от пожара и помогают оценить интенсивность закончившегося пожара по свежему пожарищу.

### Условия и методика проведения опытов

Опыты проводились в течение 1960 и 1961 гг. на трех опытных площадях. Две из них находились на территории Енисейского леспромхоза Красноярского края: одна в Сотниковском бору Каргинского лесопункта в 40 км к югу от Енисейска; другая на участке Половинка Сымского лесопункта на р. Сым; третья в Тимирязевском леспромхозе Томской области, в Калтайском лесопункте, в кварталах 171—173, на левом берегу Томи, южнее Томска.

Первая площадь представляет собой изреженный сосняк, местами захламленный валежом и срубленными деревьями, находящийся на склоне террасы, окаймляющей р. Галчиху. Высота террасы 15—20 м, склоны ее имеют южную и юго-восточную экспозицию и хорошо продуваются ветрами этих направлений.

Опыты с 1 по 12 проводились со 2 по 24 июня 1960 г., когда зеленая трава уже появилась и в большинстве мест перекрыла остатки прошлогодней сухой травы. Однако на площади было немало участков с большим количеством этих остатков, которые задерживают развитие зелени. Эти скопления были особенно заметными около валежин в лощинах.

Здесь в первых опытах зеленая трава только начинала появляться между лежащими стеблями сухой и общая высота покрова составляла 10—20 см; в конце периода сухая трава значительно перекрылась зеленой, высота ее достигала 30—40 см и горение могло развиваться лишь в местах наибольших запасов сухой травы, в частности в лощинах. В траве на участке преобладают злаки, но встречаются и бобовые. Состав древостоя — 7С2Б1Л, возраст — 110—130 лет, полнота — 0,3—0,4. Средняя высота деревьев — около 25 м, что соответствует II—III бонитету. Вследствие редкостойности расстояние от земли до крон около 9 м. Подроста на участке нет, из подлеска встречается лишь шиповник, но редко. Лес явно неоднократно горел, что и привело, вероятно, к его изреживанию. Почва на площади дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая свежая, в низине со значительным гумусовым слоем (вверху террасы 10—20 см, внизу 50—60 см). Слой подстилки толщиной 2—3 см, местами до 10 см. Уровень грунтовых вод вверху участка ниже 1 м, внизу — около 70 см.

Во время опытов преобладали юго-западные ветры со средней скоростью 2,1 м/сек, наиболее активно продувающие площадь. Средняя температура воздуха днем была около +23° и довольно устойчива. Средний дефицит влажности был около 12 мб; он мог бы быть при таких температурах больше, но частые дожди не давали возможности ему подняться. Общая обочность во время опытов была переменной и составляла в среднем 0,4. Только один опыт проводился в безоблачную погоду и также один — при сплошной облачности. Комплексный показатель Нестерова лишь к концу июня достиг 1750 мб/град, но сильный дождь прекратил его увеличение. Из 12 опытов удачно проведены 10, из них 4 при II и 6 при III классах пожарной опасности.

Вторая площадь находится на широкой песчаной гряде, протянувшейся вдоль р. Сым с северной стороны, примерно в 25 км от Енисея. Здесь имеется большой массив сосняка с почти чистым лишайниковым покровом, лишь по краям этой площади появляется брусника. Высота лишайников колеблется от 4 до 8 см, брусники — от 10 до 20 см. Степень покрытия лишайником редко опускается ниже 0,8. Сосняк разновозрастный и редкостойный. Его таксационная характеристика дана в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика сосняков лишайниковых на опытных участках 2 и 3

Площадь	Бонитет	Возраст, лет	Полнота		Высота деревьев, м		Высота до крон, м	
			средняя	колебания	средняя	колебания	средняя	колебания
2	IV	20—60	0,4	0,2—0,8	6,5	3,5—14	2	1—8
3	III	10—30	0,5	0,3—0,9	5	2—12	2	1—6

Подлеска на площади нет. Захламленность различная, но в большинстве случаев незначительная.

Сосняк явно послепожарный, хотя пожар прошел, по-видимому, давно, так как большинство валежин и сухостоя сгнило и лишь слегка возвышается над почвой. Большая часть опытной площади занимает ровную часть гряды и только на краю ее есть склоны, крутизной более 15°. Почва песчаная с очень тонким гумусовым горизонтом. Опыты с 13 по 61 проводились с 8 по 23 июля 1960 г.

Метеорологическая обстановка была более постоянной, чем во время опытов на первой площади. Преобладали ветры северо-западного направления со средней скоростью 1,5 м/сек, т. е.

более умеренные. Температура воздуха днем изменялась от 18 до 30°. Средний дефицит влажности был около 13 мб и лишь в конце периода поднялся до 22 мб. Дожди, за исключением последней недели, нередко выпадали и здесь. Комплексный показатель Нестерова в последние дни достиг 2170 мб/град. Опыты по классам пожарной опасности распределились так: I—9, II—28 и III—12, т. е. большая часть опытов пришлось на II класс. Необходимо отметить, что при I классе, который формально означает непожароопасную погоду, оказалось возможным провести почти 20% опытов. Облачность была обычно довольно значительной и составляла в среднем 0,7. При безоблачной погоде проведено 9 опытов, при сплошной облачности — 24.

Третья опытная площадь менее однородна. На основной ее части слабо захламленный сосняк лишайниковый, но с менее характерным покровом, чем на второй площади. Здесь неизменным спутником является кошачья лапка, покрывающая 0,1—0,2 площади, нередко встречается осочка, кое-где брусника, а местами пятна зеленого мха. У лишайников степень покрытия 0,5—0,8. Мертвый покров под деревьями обычный (сосновая хвоя, шишки, мелкие веточки, чешуи коры), толщиной 1—2 см. Он занимает 0,1—0,3 площади. Высота лишайников и брусники не отличается от высоты их на второй площади. Высота осочки к концу опытов составляла 15—25 см. Дрестовой (см. табл. 1) сформировался на вырубке. В нем встречаются отдельные старые деревья, вероятно семенники, и небольшая примесь осины, реже березы. Подрост очень редкий, преимущественно из осины. Средина опытного участка ровная, но на южной и особенно северной сторонах тянутся небольшие гряды 5—10 м со склонами до 15°. Почва на участке песчаная, лишь с очень малой примесью глинистых частиц. Уровень грунтовых вод лежал ниже 1 м.

Рядом с этой группой песчаных гряд, покрытых чистым сосняком, находится понижение, переходящее в заболоченную пойму ручья. Это понижение не заросло лесом после рубки и на нем встречаются лишь отдельные старые березы и очень редкие молодые осины высотой 1—1,5 м. Из кустарников на участке — акация и шиповник. Покров густой из трав. Во время опытов от 13 до 19 мая 1961 г. он состоял в основном из сухой травы. Захламленность участка значительная, сухая трава лежит непрерывным слоем в 20—25 см высотой — горючих материалов для развития огня было достаточно. Здесь проведено всего два опыта.

Метеорологическая обстановка опытов на лишайниковой части площади довольно резко отличалась от обстановки работ на травяной части. На травяной пониженной, но открытой части площади скорость ветра была около 3 м/сек, температура 17°, дефицит влажности 14 мб, класс пожарной опасности — III, об-

лачность незначительная. На лишайниковой же части площади ветер был значительно слабее, в среднем 0,9 м/сек, преимущественно северо-западного направления. Меньшая скорость ветра в основном вызвана большей густотой леса (см. табл. 1). Средняя температура была 19°, причем в начале периода 20 опытов проведено при температуре ниже 15°, в конце периода она доходила до 32°. Дефицит влажности составлял в среднем 15 мб, более низким был в начале периода, в конце доходил до 34 мб. Дожди в этот период выпадали значительно реже, так что комплексный показатель Нестерова достиг 4600 мб/град. Распределение опытов по классам пожарной опасности таково: I—4, II—21 и III—37, т. е. преобладал III класс. Облачность была в среднем 0,3. Соответственно этому при безоблачной погоде проведен 31 опыт, при сплошной облачности — 10. Таким образом, на этой площади главным воздействующим на пожары фактором была засуха, а на предыдущих — ветер.

Методика проведения опытов: прежде всего, подбирался по возможности однородный в отношении покрова участок, представлявший примерно равные возможности для распространения огня в различных направлениях. Затем в точке поджигания вбивался центральный колышек и от него постановкой колышков через 2 м провешивались две перпендикулярные линии по четырем направлениям (фронт, правый и левый фланги, тыл). Положение фронта, а соответственно и остальных направлений, определялось ветром (фронт по ветру). Колышки вбивались так, чтобы их высота над уровнем земли составляла 1 м. Таким образом, они могли служить ориентирами при определении высоты пламени. По фронту устанавливалось 5—6 колышков (6 при более сильном ветре), по флангам 3—4 и в тылу 2—3. Кроме колышков, на площади будущего пожарища, втыкали в землю 10 алюминиевых проволок с двумя перегибами, один на уровне верха подстилки, другой — верха покрова. По ним можно было судить о глубине прогорания покрова или подстилки. На фланге в 30 м от места опыта устанавливался анемометр на высоте 2 м. Он регистрировал среднюю скорость ветра во время горения. В 1961 г., примерно в средней части будущего пожарища и на типичном месте, отбирались образцы покрова и подстилки для определения их влажности (по отношению к абсолютно сухому весу). Если нижняя часть покрова была влажной (у лишайников мягкой), она присоединялась к подстилке, представляя в этом случае деление на горящую и негорящую части.

Началом опыта считалось поджигание покрова у центрального колышка, причем отмечалось время начала горения. В ходе опыта регистрировалась высота пламени, глубина кромки, время прохождения огнем каждого из колышков или, точнее, линии, намеченной колышком. Избрание линии, а не са-

мого колышка, связано с изменениями направления ветра во время опыта и превращением фронта во фланг, а иногда даже и в тыл. При промежуточном движении фронта, между установленными направлениями, оценивать скорость движения лучше по пересечениям огнем линий, а не точек.

В конце опыта регистрировалось время начала и конца тушения. После тушения пожара отмечались: наклон поверхности земли в градусах для места продвижения фронта, высота всех деревьев на пожарище и высота начала крон у них, полнота древостоя. Из метеорологической обстановки отмечались: облачность, направление и средняя скорость ветра, температура и дефицит влажности воздуха во время опыта по записям самописцев, установленных на уровне покрова на площади для опытов. По алюминиевым проволокам и высоте сохранившегося покрова или подстилки определялась глубина прогорания покрова или подстилки (если горела подстилка, то покров сгорал полностью). Регистрировалась также высота нагара на стволах всех деревьев. Спустя одну, две недели отмечались степень повреждения крон на пожарище в среднем и максимальная высота повреждений. Не регистрировался запас горящего горючего на единицу площади из-за сравнительной однородности его для лищайникового покрова. При широких вариациях запаса эта величина, разумеется, должна измеряться.

Полученные результаты обрабатывались. Наиболее сложной была обработка для получения скоростей движения фронта, флангов и тыла в каждом опыте. Дело в том, что огонь после поджигания движется вначале медленно, постоянно ускоряясь, пока не достигнет сравнительно постоянной скорости<sup>1</sup>. Это происходит под влиянием сокращения направлений рассеяния тепла; костер рассеивает его во всех четырех направлениях, кромки огня только в двух — вперед и назад, тогда как в боковых направлениях соседний огонь компенсирует происходящее рассеяние. Это происходит также под влиянием начального нарастания теплового тыла огня, сокращающего отдачу тепла огнем назад. Однако теоретически постепенное нарастание скорости происходит скачками, связанными с порывами ветра, вариациями в запасах и структуре горючего и т. д. Казалось бы, проще всего решить задачу, используя скорость продвижения между последними колышками. Однако для такого решения нужно сперва проверить, действительно ли эта скорость посто-

<sup>1</sup> Эта скорость не останется постоянной в течение всего пожара в последующем. Возможно ускорение движения за счет создания большой конвекционной колонки самим пожаром (собственный ветер) и как ускорение, так и замедление под действием внешних причин (изменение ветра, переход на склон и т. д.). Однако первое ускорение возникает не сразу и далеко не всегда, а обычно только на крупных или верховых пожарах. Внешние влияния переменны и не отличаются принципиально от них в начальной стадии. Их можно исключить статистически.

янна, т. е. определить кривую зависимости скорости продвижения огня от пройденного им расстояния. А для этого нужно большое число опытов с измерениями на всем пути движения огня, как это было принято в наших опытах. Кроме того, единичное измерение скорости на небольшом расстоянии, а следовательно и за небольшой промежуток времени, значительно

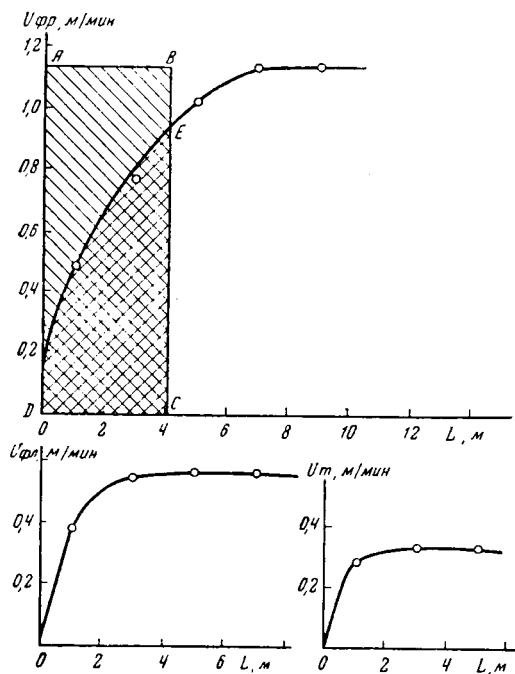


Рис. 1. Зависимость скорости движения фронта, фланга и тыла  $v$  от пройденного расстояния  $L$

снижает точность определений скорости, чем это делается при наличии измерений за значительно больший период времени. Поэтому при расчетах скорости движения огня определялась средняя величина ее на всем пути фронта или другого направления в данном опыте и умножалась на поправочный коэффициент, учитывающий влияние разгона огня на данном расстоянии.

На рис. 1 приведены кривые разгона фронта, фланга и тыла по данным 126 опытов. Значительное число данных позволило довольно точно определить ход кривых и предельные расстояния, на которых скорость становится практически установившейся. Как видно из кривых, скорость фронта устанавливается после прохождения 6—8 м, флангу достаточно 4—6 м, тылу 2 м. Вычисление поправочных коэффициентов для получения

постоянных скоростей из средних показано графически на рис. 1. Поправочный коэффициент для скорости фронта при наличии данных о ней до 4 м от точки поджога будет равен отношению площади прямоугольника  $ABCD$  и площади под кривой  $CDE$ . Вычисленные коэффициенты даны в табл. 2.

При определении высоты деревьев на пожарище производилось распределение их по группам: 0—2, 2—3, 3—4, 4—5, 5—6, 6—8, 8—10, 10—12, 12—15, 15—20, 20—25, 25—30 м и определялось число деревьев в каждой группе. В учет входил также и

Таблица 2

Поправочные коэффициенты для вычисления установившихся скоростей движения фронта, фланга и тыла из имеющихся средних скоростей

Части кромки пожара	Расстояние, пройденное кромкой пожара от места зажигания, м					
	0—2	2,1—4	4,1—6	6,1—8	8,1—10	10,1—12
Фронт	2,36	1,81	1,50	1,33	1,25	1,20
Фланг	1,50	1,23	1,14	1,10	—	—
Тыл	1,14	1,06	1,04	—	—	—

подрост, как оказывающий существенное влияние на интенсивность огня и переход его на кроны. Такого рода данные позволяют не только определить среднюю высоту деревьев вместе с подростом, но и подобрать характеристики распределения высот, важные для развития пожаров. Аналогично, расстояние от земли до кроны (высота до кроны) для всех деревьев на пожарище делилось на интервалы: 0—0,5; 0,5—1,0; 1,0—1,5; 1,5—2,0; 2—3; 3—4; 4—5; 5—6; 6—8 м и т. д. Более мелкая разбивка интервалов до 2 м важна с точки зрения развития пожаров; остальные градации были теми же, что и для высоты деревьев.

Полнота определялась отдельно для каждого пожарища, так как она играет значительную роль в высыхании покрова.

В 1960 г. проводился учет захламленности пожарищ (количество валежа и сухостоя в расчете на 1 га). Однако попытки определить статистически ее влияние на скорость продвижения огня и высоту пламени оказались безрезультатными. Визуальные наблюдения показывали, что валеж при слабом огне замедляет его движение, а при сильном немного ускоряет; из-за небольшого размера пожарищ (0,01—0,05 га) расположение валежа сильно влияло на степень замедления. Сухостой разгорался уже после прохода кромки огня и поэтому на ее движение практически не влиял. Захламленность преобладающего количества участков при опытах 1961 г. была слабой и поэтому количественно не учитывалась.



## Результаты опытов и их анализ

Результаты опытов, разбитые на три группы данных, приведены в Приложении. В первую группу входят сведения о времени, рельефе и горючем (характере древостоя и влажности покрова); во вторую — метеорологическая обстановка опыта; в третью — характеристика самого пожара и его ближайших последствий. Приведенные сведения являлись основой последующих статистических сопоставлений и поэтому даны полностью.

Что же удалось извлечь из полученных данных? Основным вопросом было, конечно, влияние различных факторов на скорость продвижения кромки пожара. Однако, как известно, различные ее части движутся с различной скоростью. Поэтому за основу необходимо было взять скорость движения одной части кромки, естественно фронта, как наиболее быстрого, и относительно его определить скорости движения остальных частей кромки. Таким образом, вычисления были начаты с определения связей скорости фланга и тыла со скоростью фронта.

Как показывает рис. 2, связь скорости фланга со скоростью фронта оказалась близкой к прямолинейной, степень связи и ее уравнение можно подсчитать обычными методами статистики. В связи со скоростью тыла и фронта из прямолинейности выпадала последняя точка, представленная двумя данными. Причина выпадения не ясна; она может быть связанной как со случайным отклонением из-за малого числа данных, так и с действительным подъемом скорости тыла при больших скоростях ветра (а следовательно, и фронта). В настоящее время пришлось исключить эти данные и вычислить связь для меньшего интервала скоростей фронта и тыла.

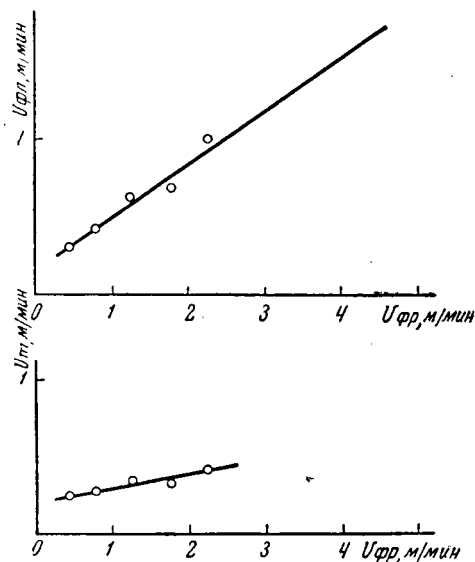


Рис. 2. Связь между скоростями флангов и тыла со скоростью фронта

В результате статистических вычислений (Хальд, 1956), основанных на более чем 120 опытах, для связи между фронтом и флангом нами получено уравнение:

$$y = 0,35x + 0,17,$$

где  $y$  — скорость движения фланга и  $x$  — скорость движения фронта при измерении скоростей,  $м/мин$ . Коэффициент корреляции оказался равным 0,87, т. е. вполне значимым. Интервал действительности уравнения лежит от 0,3 до 5  $м/мин$  скорости фронта. Уравнение означает, что скорость фланга возрастает на  $1/3$  роста скорости фронта, т. е. фланг двигается заметно медленнее фронта. Это и понятно, так как ветер — основной фактор, влияющий на скорость движения фронта, действует на фланг лишь через развитие турбулентности, в частности хорошо знакомых вихрей на пожаре. Другой и нередко более важный источник влияния ветра на фланг — это наблюдающиеся изменения направления ветра. Периодически фланг или его часть становится фронтом, хотя и реже чем «истинный» фронт, приобретая в среднем более значительную скорость движения.

Небезынтересен также постоянный член уравнения. Он означает, что даже при нулевой скорости фронта скорость фланга окажется не ниже 0,17  $м/мин$ . А если учесть, что сама скорость фронта ни в одном случае не была ниже 0,3  $м/мин$ , минимальная скорость фланга окажется того же порядка — 0,27. Наличие минимальных скоростей движения — не случайное явление, а связано с тепловым равновесием огня. При слишком малых скоростях, обязанных слабому пламени, рассеяние тепла из сферы горения начинает преобладать над выделением. Это приводит к быстрому прекращению горения по типу затухания цепных реакций. При этом следует различать остановку огня на небольшом участке и в целом по всей кромке. Наши измерения всегда относились к участкам кромки, а не ко всей. На всем периметре пожара всегда имеются вариации в качестве и количестве горючего, и другие, приводящие к тому, что затухание кромки идет не одновременно, а последовательно, сперва на худших для горения участках, позже — на лучших. Поэтому движение кромки огня в целом может не показать наблюдаемого минимума, затусhevывая его.

Для связи между фронтом и тылом получилось уравнение:

$$y = 0,10x + 0,20,$$

где  $y$  — уже скорость движения тыла. Коэффициент корреляции равен 0,40 и интервал значимости уравнения — от 0,3 до 2,5  $м/мин$  скорости фронта. Уравнение показывает, что тыл, хотя и очень слабо, но все же реагирует на возрастание скорости фронта, причем его скорость тоже растет. Постоянный член уравнения с учетом минимума фронта дает минимум для тыла 0,23, т. е. опять-таки близкую величину. По-видимому, скорость движения огня лежит в пределах 0,2—0,3  $м/мин$ , при более низкой скорости горение кромки прекращается. Довольно низкий коэффициент корреляции для тыла по сравнению с флангом

естествен, так как влияние скорости ветра, определяющего фронт, здесь значительно слабее и носит иной характер.

Полученные уравнения позволяют производить расчет скоростей движения различных частей кромки, зная скорость одной (лучше всего фронта). Данные действительны при указанных интервалах скоростей движения фронта, соответствующих скоростям ветра в лесу до 3 м в секунду (на метеостанции примерно в два с половиной раза большим), т. е. наиболее распространенным.

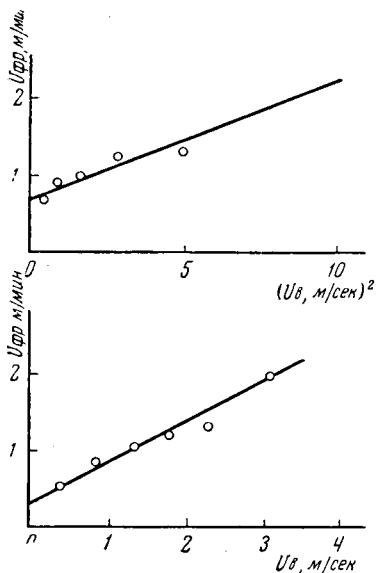


Рис. 3. Связь между скоростями фронта и ветра

движения фронта огня пропорциональна квадрату скорости ветра. Хотя такого рода закономерность и является лишь эмпирическим приближением (при больших скоростях ветра она может привести к абсурду, большей скорости фронта, чем скорость ветра), в имевшемся интервале скоростей ветра, от 0 до 4 м/сек, она дает несколько лучшую корреляцию, чем линейная зависимость. Для квадратичной зависимости, по нашим данным, получается уравнение

$$y = 0,16x^2 + 0,69,$$

где  $y$  — скорость движения фронта в м/мин и  $x$  — скорость ветра в м/сек. Коэффициент корреляции при этом равен 0,64. Для линейной связи получается уравнение

$$y = 0,52x + 0,37$$

Они годятся для сосняков лишайниковых и разнотравных и почти наверняка — для лишайниково-мшистых, вересковых и брусничных. Возможность использования уравнений в других типах леса еще нужно проверить, хотя серьезных различий здесь не предвидится. Необходимо также подчеркнуть, что при больших скоростях ветра или движения по крутым склонам прямолинейность связи может нарушиться.

Наиболее важной частью работы было определение влияния различных, в основном метеорологических факторов, на скорость движения фронта пожара. Очевидно, что наиболее действенным фактором должен являться ветер.

В ранних работах Шоу (Show, 1919) указывалось, что скорость

с коэффициентом корреляции 0,61. Хотя корреляционное различие между уравнениями невелико, но это целиком обусловлено недостатком данных с сильными ветрами (рис. 2). При более равномерном распределении данных по ветрам разной скорости различие усилилось бы.



Рис. 4. Наклон пламени при ветре на фронте и в тылу пожара. Заштрихован подготовляемый к горению покров

Интересно было проследить влияние ветра на скорость движения тыла. Если рассматривать его с точки зрения формы пламени (рис. 4), играющей значительную роль в движении фронта путем ускорения подогрева очередной порции горючего, то в тылу ветер должен замедлять, а не ускорять движение огня из-за больших расстояний от пламени до горючего, т. е. дать отрицательный коэффициент корреляции. Однако не следует забывать и другой путь воздействия ветра — турбулентные потоки, направленные во все стороны и особенно сильные около «шероховатой» поверхности лесного покрова. Они могут пересилить влияние наклона пламени и привести к ускорению движения тыла при возрастании скорости ветра. Статистика это подтверждает. Коэффициент корреляции получился равным +0,08, т. е. хотя и очень малым, но все же положительным. Соответственно этому и уравнение получило такой вид:

$$y = 0,016x + 0,28.$$

Низкий коэффициент перед  $x$  (скорость ветра) подчеркивает очень слабое ускорение тыла ветром, составляющее менее 0,1 м/мин, даже при скорости ветра 5 м/сек (рис. 5). Не исклю-

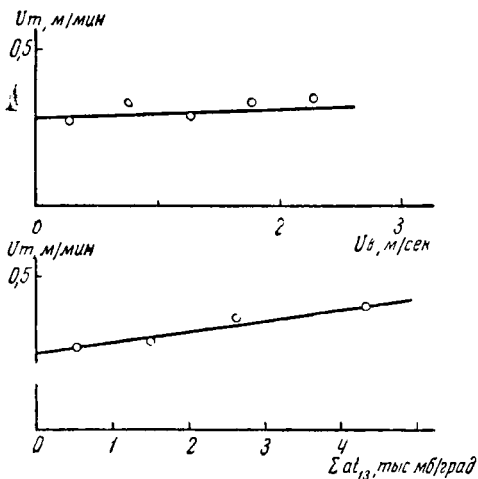


Рис. 5. Влияние ветра и показателя засухи на скорость тыла

чено, что и здесь влияние сильных ветров более значительно и зависимость квадратична, но ничтожность связи делает такие вычисления малонадежными и они не предпринимались.

Следующим по значимости фактором, влияющим на скорость фронта, оказалась засуха, характеризуемая комплексным показателем Нестерова (сумма произведений дефицита влажности воздуха в мб на температуру воздуха, определенные в 13 час.). Если вычислить коэффициент корреляции по исходным данным, он получается равным 0,16. Уравнение при этом имеет такой вид:

$$y = 0,07x + 0,90,$$

где  $x$  — показатель Нестерова в тысячах мб/град;  $y$  —

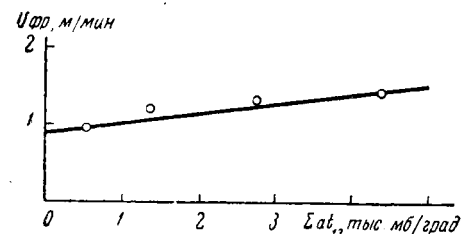


Рис. 6. Влияние показателя засухи на скорость фронта

обычная скорость фронта. Однако корреляция улучшается, если в исходных данных устранить влияние ветра, вводя в каждое значение скорости фронта поправку на ветер по уравнению связи с ветром. В этом случае все значения приводятся к среднему и коэффициент корреляции возрастает до 0,36, а уравнение принимает вид:

$$y = 0,13x + 0,85,$$

т. е. более влиятельным. Прямая, соответствующая этому уравнению, изображена на рис. 6. В качестве меры значимости различных факторов можно принять разность предельных значений скорости фронта или тыла по соответствующему уравнению при максимальном и минимальном значении данного фактора. На фронте для ветра эта разность получается 2,19, для степени засухи — 0,60, т. е. более, чем в 3,5 раза меньшей.

Если перейти к связи скорости тыла с показателем Нестерова, картина резко изменится. Коэффициент корреляции здесь оказывается равным +0,39 и уравнение:

$$y = 0,033x + 0,25,$$

соответствующая ему прямая изображена на рис. 5. Хотя коэффициент перед  $x$  и очень мал, но все же больше, чем у уравнения связи с ветром. Соответствующие разности предельных значений получаются для ветра — 0,06, для засухи — 0,15. Здесь уже засуха действует в 2,5 раза сильнее, хотя по абсолютному значению оба фактора, разумеется, влияют слабо.

Далее следовало проверить влияние других метеопоказателей текущего дня, кроме ветра, на скорость фронта и тыла. Очевидно, что наибольшего влияния можно ожидать от

дефицита влажности воздуха во время опыта, определяющего скорость испарения. Однако здесь может накладываться влияние засухи, так как с возрастанием числа дней после дождя обычно растет и дефицит влажности в данный день. Поэтому устранение влияния ветра в исходных скоростях фронта было дополнено устранением влияния засухи. Для такого рода данных коэффициент корреляции получился  $+0,15$ , а уравнение:

$$y = 0,01x + 0,87,$$

т. е. влияние было совсем слабым и недоказанным. Если все-таки определить значимость этого фактора, она окажется равной  $0,30$  или вдвое меньшей, чем для засухи. Интересно, что аналогичные результаты получаются и для тыла, лишь с меньшими абсолютными значениями воздействий. Коэффициент корреляции для связи значений скорости тыла, выравненных на влияние засухи, с дефицитом влажности воздуха равен  $+0,18$ , а уравнение получилось:

$$y = 0,0027x + 0,27.$$

Значимость этого фактора всего лишь  $0,08$ , т. е. также вдвое меньше величины влияния засухи ( $0,15$ ), но все-таки несколько больше, чем влияние ветра. Поскольку засуха и дефицит влажности воздуха текущего дня оказывают влияние и на фронт, и на тыл, этот параллелизм следовало ожидать.

Последним метеорологическим фактором, для которого проведена полная статистическая обработка, была общая облачность, оцениваемая в десятых долях. Однако в вычислениях мы ограничились влиянием ее на фронт пожара, так как даже для фронта получились очень низкие показатели влияний. При использовании исправленных на ветер и на показатель засухи скоростей фронта коэффициент корреляции связи их с облачностью получился  $-0,15$  и уравнение связи:

$$y = -0,14x + 1,08.$$

Поскольку облачность может иметь значения от  $0$  до  $1$ , значимость фактора получается  $0,14$ , т. е. вдвое меньше значимости дефицита влажности текущего дня.

Еще одним фактором, для которого определялось статистически его влияние на скорость фронта, была влажность горючего, выраженная в процентах по отношению к абсолютно сухому весу. Она практически заменяет засуху, дефицит влажности текущего дня и, вероятно, облачность, так что от нее следует ожидать более высокой корреляции. Но форма кривой, как видно на рис. 7, не особенно удобна для аппроксимации. Линейная зависимость здесь, безусловно, не годится, и невозможно также использование уравнения параболы. Наиболее подходящим оказалось ги-

перболическое уравнение, которое лучше всего представить в форме

$$(y - a) \cdot (x - b) = c.$$

Поскольку  $b$  можно считать равным 0,3, т. е. минимальному значению для скорости фронта, уравнение примет такой вид:

$$y = a'z + b',$$

где

$$z = \frac{1}{x - 0,3}.$$

Это уравнение выражает связь с коэффициентом корреляции 0,58 и в данном случае имеет вид:

$$y = \frac{1,52}{x - 0,3} + 10,8.$$

Значительно больший коэффициент корреляции, чем для соответствующих метеорологических факторов, показывает, что эти факторы проявляют свое действие через влажность горючего.

Небезынтересен и постоянный член уравнения  $b$ , равный 10,8. Он представляет собой минимальную влажность, ниже которой скорость фронта уже почти не связана с влажностью горючего.

Этим не ограничивается перечень факторов, воздействующих на скорость движения огня. Однако предварительные расчеты средних значений показали, что их действие еще слабее и поэтому полная статистическая обработка нецелесообразна. Их влияние будет показано только на средних значениях зависимых величин по интервалам независимых переменных.

Несомненно, что значительное влияние на распространение пожара будет оказывать время суток. В ночные часы пожар обычно резко замедляется в своем развитии или совсем останавливается. Однако основная задача опытов — характеристика средств тушения не позволяла проводить круглосуточные наблюдения. Самым ранним временем проведения опытов было 10 час. утра и самым поздним — 6 час. вечера. Ослабление огня наблюдалось до 11 утра и после 5 час. вечера. При общем среднем значении скорости фронта для всех опытов 1,02 м/мин среднее значение для 12 опытов, проведенных до 11 утра, было 0,84 м/мин и для трех опытов после 5 час. вечера — 0,80. Достоверность этих снижений скорости недостаточна из-за малого числа данных, особенно для вечерних часов. За время с 11 час. утра до 5 вечера влияние времени дня на движение огня не наблюдалось.

Достаточно общеизвестно также влияние склона на скорость движения огня. Однако на опытных участках склон не превышал  $15^\circ$ , и то лишь в немногих местах. Средние данные показывают возрастание скорости движения на  $0,02$  м/мин при среднем склоне  $7^\circ$ , т. е. практически неощутимое. Очевидно, для установления этой зависимости нужно испытание на более крутых склонах.

Влияние высоты деревьев на скорость движения огня сказывается в основном через ветер. Он легче проникает через

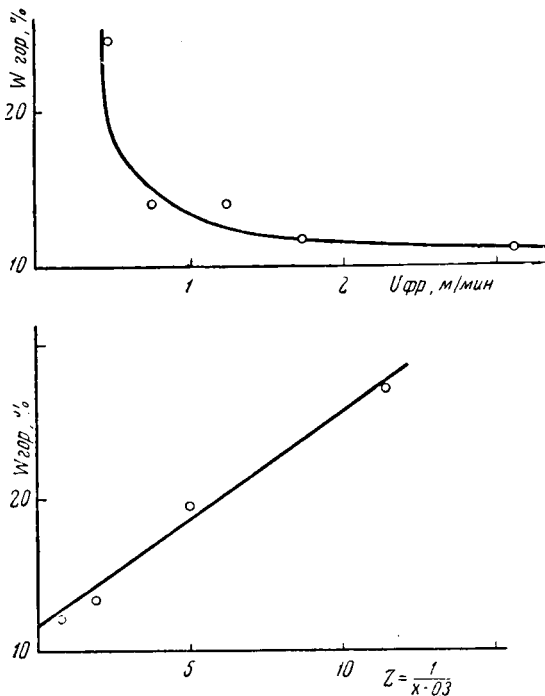


Рис. 7. Связь скорости фронта с влажностью горячего

высокий редкостойный лес и низкий молодняк. При средних высотах леса должен быть минимум скорости распространения огня. Средние данные подтверждают это (табл. 3). Однако, насколько действителен порядок изменений, сказать трудно.

Аналогично через ветер влияет на скорость движения огня полнота древостоя (сомкнутость крон). Здесь следует ожидать минимума скорости движения фронта при наибольших полнотах. Данные табл. 4 подтверждают это, но в третьей строке таблицы они не слишком убедительны.

До сих пор рассматривалось влияние различных факторов на скорость движения фронта, флангов и тыла пожара, примени-



тельно к условиям, когда значение факторов или независимых переменных известно. Но иногда возникает необходимость восстановить картину пожара вскоре после его ликвидации или даже на следующий год. Как в таком случае оценить условия

Таблица 3

Связь между средней высотой деревьев и скоростью фронта пожара в древостое

Высота деревьев, м	Средняя скорость фронта, м/мин	Число данных
>10	1,35	16
5—10	0,95	70
<5	1,02	40

Таблица 4

Связь между высотой леса и скоростью фронта пожара

Полнота	Средняя скорость фронта, м/мин	Число данных
≤0,3	1,28	44
0,4—0,6	0,89	69
≥0,7	0,86	13

горения и скорость распространения огня? Чтобы помочь решению этого вопроса, мы попытались определить связь между высотой пламени и высотой нагара на стволах, а также степенью повреждения крон. Через них создается возможность определить высоту пламени, которая является важной характеристикой пожара. Дальше выявлялась корреляция между высотой пламени и скоростью движения фронта, чтобы получить возможность определить последнюю. Высота пламени зависит не только от скорости движения огня, но и от количества горючего на единице площади. Второго рода зависимость в наших опытах установить не удалось, так как лишайниковый покров не дает значительного разнообразия. Поэтому вторая цепочка связей получилась неполной и требует дальнейшего уточнения.

Рассмотрим связь высоты пламени с высотой нагара на стволах у сосен. Она оказалась очень прочной, несмотря на грубость оценки обеих величин, с точностью до 1 дм. Коэффициент корреляции равен 0,96, а уравнение связи:

$$y = 2,06x - 1,42,$$

где  $y$  — высота нагара на сосновых стволах в дм, а  $x$  — высота пламени в дм (рис. 8). Из уравнения видно, что высота нагара растет вдвое быстрее, чем высота пламени. С первого взгляда это может показаться странным — ведь нагар создается пламенем. Причина в том, что с задней стороны ствола по ходу огня от соединения обтекающих с двух сторон ствол потоков образуются вертикальные вихри. Эти вихри поднимают пламя на более значительную высоту, чем обычная при горении покрова. Некоторую роль играет также обычное увеличение массы и рыхлости покрова около основания ствола. Визуальные наблюдения показывают, что уравнение, несмотря на высокую тесноту связи, не

полно отражает действительную картину. Высота нагара зависит не только от высоты пламени, но и от диаметра стволов, не говоря о видах деревьев. Обычно, чем тоньше ствол, тем меньше высота нагара на нем. Причин может быть две: ослабление вихрей за тонкими стволами и меньшая высота пламени на таких

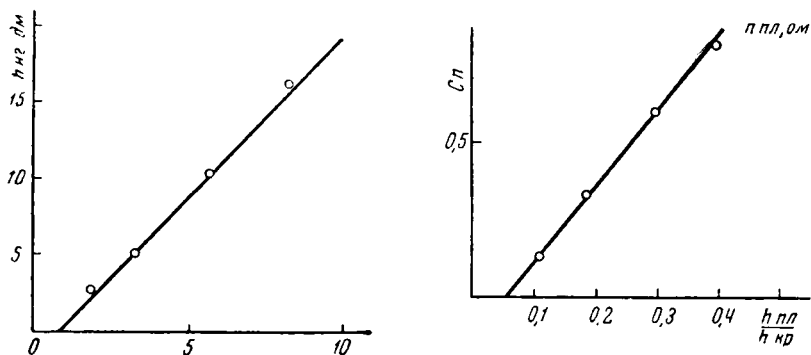


Рис. 8. Связь высоты нагара на стволах и повреждений крон с интенсивностью горения

участках из-за ослабления ветра более близкими к покрову кронами. Косвенно это можно подтвердить данными табл. 5, показывающими влияние высоты деревьев на высоту нагара, для которой устранено влияние высоты пламени. Очевидно, что высота деревьев и диаметр стволов связаны довольно тесно.

Визуальные наблюдения также показывают, что нагар на стволах осины значительно ниже, чем у сосны, у березы же он очень разнообразен; встречается и очень высокий нагар, особенно при сильном огне и у толстых стволов, когда вспыхивает кора; наблюдается и более низкий, характерный для слабого огня.

Таблица 5

Связь между высотой деревьев и исправленной высотой нагара

Высота деревьев, м	Исправленная высота нагара, дм	Число данных
>10	7,6	5
5—10	5,7	70
<5	5,5	35

Кроме нагара на стволах, на свежих пожарищах легко наблюдаются повреждения сосновых крон, которые также могут служить признаком интенсивности пожара и одновременно важным для оценки последствий пожара. Однако степень повреждений крон, выражаемая в десятых долях, связана не только с высотой пламени, но и с расстоянием от поверхности земли до крон и полога древостоев. Испытания на материале 1960 г. показали, что наиболее разумным сведением обоих факторов в одну величину будет отноше-

ние высоты пламени к высоте до крон, дающие более высокую корреляцию, чем разность этих величин (коэффициент корреляции 0,82 и  $-0,30$  соответственно). Поэтому первый параметр был принят для корреляции совокупности данных 1960 и 1961 г. Результаты следующие: коэффициент корреляции 0,77, а уравнение:

$$y = 1,46x + 0,055,$$

где  $y$  — степень повреждений крон и  $x$  — отношение высоты пламени к высоте до крон (рис. 8). Таким образом, связь, хотя и слабее предыдущей, является достаточно надежной и также может служить средством определения интенсивности горения. Правда, при этом требуется дополнительная оценка одного из параметров древостоя — высоты до крон. Оба измеримых показателя пожара в сосняках — степень повреждения крон и высота до крон дают возможность определить высоту пламени при пожаре.

Для оценки скорости движения кромки, хотя бы приближительной, необходимо знать, как уже указывалось, связь скорости движения огня с высотой пламени. Корреляция этих величин привела к следующим результатам: коэффициент корреляции равен 0,44, т. е. связь оказалась ненадежной и пригодной лишь для грубых ориентировочных расчетов. Уравнение связи получилось таким:

$$y = 0,16x + 0,48,$$

где  $y$  — скорость движения фронта в  $м/мин$  и  $x$  — высота пламени в  $дм$ . Переход от скорости фронта к скорости движения остальных частей пожара (фланга и тыла) дают уравнения, приведенные ранее.

Скорость фронта и тыла можно также приближенно рассчитать по метеорологической обстановке при пожаре, если она известна. Ограничениями здесь будут: сходство типа леса, отсутствие крутых склонов и предельные значения метеорологических факторов. Комбинированное уравнение для скорости фронта  $y$  в  $м/мин$  получится:

$$y = 0,16x_1^2 + 0,13x_2 + 0,01x_3 - 0,14x_4 + 0,43,$$

где  $x_1$  — скорость ветра в  $м/сек$ ,  $x_2$  — комплексный показатель засухи в тысячах  $мб/град$ ,  $x_3$  — дефицит влажности воздуха на 13 час. текущего дня в  $мб$  и  $x_4$  — облачность в десятых долях.

Аналогичное уравнение для скорости тыла имеет следующий вид:

$$y = 0,016x_1 + 0,033x_2 + 0,0027x_3 + 0,20$$

с теми же обозначениями. Возможная ошибка вычислений по этим формулам доходит до 40% величины.

## Заклучение

Основной целью работы было, как указано, выяснение различных связей при лесных низовых пожарах в сосняках лишайниковых и травяных, их силы и значимости, а также разработка методики изучения таких связей.

При решении методических вопросов важно было

а) определить метеоданные на месте опытов, а не на далеких метеостанциях, так как последнее приводит к серьезным ошибкам;

б) определить минимальный размер пожаров, на которых можно получить достаточно надежные скорости движения огня.

По основной задаче прежде всего выявлены соотношения скоростей движения фронта, фланга и тыла, важные для определения скоростей других частей пожара по одной имеющейся. Установлено, что из различных переменных, наибольшее влияние на скорость движения фронта и тыла оказывают метеорологические факторы. На скорость продвижения фронта наибольшее влияние оказывает ветер, затем идет засуха (показатель Нестерова), далее — дефицит влажности воздуха во время опыта и, наконец, облачность. Влажность горючего оказывает наибольшее влияние на скорость движения кромки пожара, чем три последних метеорологических показателя, что овидетельствует об их влиянии в основном через влажность. Для скорости движения тыла наиболее важной оказалась засуха, затем дефицит влажности и лишь после этого ветер. Хотя этот порядок и не особенно надежен статистически из-за слабости связей, он очень характерен. По полученным данным удалось составить суммарные уравнения для определения скорости движения фронта и тыла по метеопоказателям. Прослежено также влияние высоты деревьев и полноты насаждения на скорость движения фронта.

Для использования наблюдений, проведенных на опытных пожарищах, были определены связи высоты пламени с высотой нагара на сосновых стволах и отношения высоты пламени к высоте до крон со степенью повреждения крон. Эти связи позволяют, кроме оценки последствий пожаров, определять высоту пламени на пожарищах, где не было наблюдателя во время пожара, а через нее и скорость движения огня.

## Литература

- Хальд. Математическая статистика с техническими приложениями. ИЛ, 1956.
- Lindenmuth A. W. Development of the 2-Index system of rating forest danger.— J. Forestry, 1961, 59, N 7.
- Show S. B. Climate and forest fires in the northern California.— J. Forestry. 1919, 17, 65—79.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Результаты полевых опытов 1960 и 1961 гг.

Общие данные

Опыт	Дата	Время наблюдения	Склон, град. (фронт)	Высота древостоя, м	Высота до кроны, м	Полнота	Влажность, %	
							покров	подстилка
1960 г.								
1	2.06	13.45	+15	30	9	0,3	—	—
2	»	14.30	»	»	»	»	—	—
3	7.06	13.50	»	»	»	»	—	—
4	»	14.55	»	»	»	»	—	—
5	8.06	15.34	»	»	»	»	—	—
6	20.06	14.00	»	»	»	»	—	—
7	22.06	13.20	+10	»	»	»	—	—
8	»	14.20	+15	»	»	»	—	—
9	23.06	13.40	+5	»	»	»	—	—
10	»	15.05	0	»	»	»	—	—
11	24.06	13.55	+5	»	»	»	—	—
12	»	14.45	»	»	»	»	—	—
13	8.07	15.30	+10	5,5	4,0	»	—	—
14	»	17.15	»	7,5	3,6	0,4	—	—
15	9.07	12.42	+5	5,7	1,2	0,2	—	—
16	»	13.37	0	6,2	1,5	0,8	—	—
17	»	14.48	+5	7,0	1,4	0,4	—	—
18	»	15.23	»	10,0	3,0	0,3	—	—
19	»	16.17	-5	7,9	2,5	»	—	—
20	10.07	14.40	0	6,0	1,0	0,5	—	—
21	»	15.17	»	6,6	2,1	0,4	—	—
22	11.07	12.18	»	5,5	1,9	0,5	—	—
23	»	13.04	»	6,6	2,2	0,3	—	—
24	»	14.37	»	5,6	1,8	0,7	—	—
25	»	15.23	»	4,6	1,0	0,3	—	—
26	12.07	12,58	»	6,1	2,1	»	—	—
27	»	13.45	»	7,9	3,6	0,8	—	—
28	»	14.45	»	5,7	2,8	0,5	—	—
29	15.07	12.00	+5	4,2	1,2	0,3	—	—
30	»	13.05	»	7,1	1,4	0,4	—	—
31	»	13.40	0	7,3	1,5	0,5	—	—
32	16.07	16.15	»	5,4	1,4	0,4	—	—
33	»	17.05	»	8,5	2,4	0,6	—	—
34	»	17.58	»	5,2	2,1	0,2	—	—
35	17.07	10.37	»	7,4	1,1	0,3	—	—
36	»	11.30	»	5,7	1,2	0,6	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (продолжение)

Опыт	Дата	Время наблюдения	Склон, град. (фронт)	Высота древостоя, м	Высота до кроны, м	Полнота	Влажность, %	
							покров	подстилка
37	18.07	12.05	0	6,1	1,6	0,3	—	—
38	»	13.38	»	6,2	0,9	»	—	—
39	»	14.35	»	5,7	1,6	0,5	—	—
40	»	15.25	»	6,4	2,1	0,3	—	—
41	»	16.09	»	6,5	1,9	»	—	—
42	19.07	12.26	»	8,2	0,9	»	—	—
43	»	13.02	»	6,5	2,2	»	—	—
44	»	13.34	»	6,3	1,3	0,6	—	—
45	»	14.26	»	7,8	2,2	0,3	—	—
46	»	15.02	»	6,7	1,9	»	—	—
47	»	15.53	»	6,9	3,9	0,4	—	—
48	20.07	11.37	»	3,4	0,9	0,2	—	—
49	»	12.17	+10	7,3	1,8	0,6	—	—
50	»	12.52	0	5,9	1,5	0,5	—	—
51	»	13.30	»	6,2	2,0	0,6	—	—
52	»	14.05	»	6,9	2,4	0,4	—	—
53	21.07	12.56	»	9,0	2,1	0,3	—	—
54	»	14.43	»	5,9	1,6	0,6	—	—
55	»	15.32	»	6,0	1,1	0,5	—	—
56	»	16.24	»	8,2	1,9	0,4	—	—
57	22.07	12.41	»	8,6	2,0	0,3	—	—
58	»	14.06	»	7,8	1,7	0,2	—	—
59	»	15.12	-10	7,4	1,7	0,3	—	—
60	23.07	11.07	0	8,4	2,6	»	—	—
61	»	12.43	»	14,0	7,8	0,6	—	—

1961 г.

1	11.05	13.00	0	5,1	1,9	0,8	29	50
2	»	14.18	»	3,6	1,1	0,5	17	—
3	13.05	14.00	»	2,8	1,4	0,2	15	28
4	19.05	11.49	+5	—	—	—	10	68
5	25.05	20.00	0	17,5	4,5	0,9	15	37
6	1.06	10.30	»	3,7	1,0	0,5	30	78
7	»	11.53	»	4,4	1,2	0,6	20	118
8	»	14.30	»	8,0	1,8	0,7	—	—
9	»	15.22	»	6,0	»	0,6	—	—
10	3.06	9.57	»	7,7	3,4	»	18	19
11	»	10.43	»	7,1	1,9	0,4	19	57
12	»	11.33	»	3,4	1,3	»	—	—
13	»	14.00	»	5,5	2,2	0,6	18	—

ПРИЛОЖЕНИЕ I (продолжение)

Опыт	Дата	Время наблюдения	Склон, град. (фронт)	Высота древостоя, м	Высота до крон, м	Полнога	Влажность, %	
							локров	подстилка
14	12.06	10.43	+5	3,4	1,9	0,6	16	83
15	»	12.59	0	3,5	1,5	0,5	19	98
16	»	14.08	»	5,4	2,0	0,6	18	59
17	»	14.49	»	5,3	2,2	»	20	67
18	14.06	14.40	»	6,8	2,7	0,4	54	78
19	»	15.50	»	4,3	2,1	0,3	22	48
20	15.06	10.58	»	5,6	1,7	0,4	23	49
21	»	13.18	-5	5,2	1,4	0,5	29	34
22	»	14.00	»	7,1	2,0	0,3	20	41
23	»	15.05	0	5,0	1,9	0,5	23	95
24	17.06	10.03	»	5,1	2,4	0,6	38	58
25	»	11.04	»	5,2	1,8	0,5	30	122
26	»	11.50	»	4,9	2,1	0,8	20	66
27	»	12.36	»	4,8	»	0,7	12	18
28	»	13.30	»	9,5	4,2	0,8	15	43
29	»	»	»	7,3	2,1	0,6	14	42
30	18.06	11.44	»	6,5	2,4	»	12	14
31	»	13.45	-5	4,8	2,2	»	15	35
32	»	14.25	0	6,9	»	0,5	12	25
33	19.06	13.01	»	5,7	2,4	0,8	11	16
34	»	13.45	»	4,0	1,8	0,6	13	30
35	»	14.36	+5	5,3	2,3	0,3	15	21
36	20.06	10.14	0	4,7	2,1	0,6	12	17
37	»	11.07	»	9,4	3,8	»	10	16
38	»	13.47	+5	12,2	5,9	0,8	10	25
39	»	14.25	+5+10	11,2	4,9	»	9	10
40	»	15.25	0	3,7	1,4	0,5	11	73
41	23.06	13.26	»	4,8	2,0	0,6	18	40
42	»	14.19	»	4,1	»	0,8	17	41
43	24.06	10.05	»	4,7	1,9	0,4	18	43
44	»	11.08	»	5,1	2,0	0,6	19	73
45	»	12.00	»	4,3	2,1	0,7	14	55
46	»	12.43	0	9,6	2,5	0,6	10	22
47	»	13.18	»	4,2	1,3	»	12	14
48	26.06	11.11	»	4,7	1,4	0,5	10	13
49	»	11.44	0+5	4,1	1,7	0,6	11	18
50	»	12.31	0	7,7	»	0,4	7	12
51	»	13.09	»	11,4	4,4	0,5	10	5
52	»	13.45	0+5	4,6	2,0	»	7	9
53	27.06	10.48	0	4,5	1,0	0,3	9	13
54	»	11.35	+5	2,3	0,9	0,4	8	9
54	»	12.07	0+5					

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (окончание)

Опыт	Дата	Время наблюдения	Склон, град. (фронт)	Высота древостоя, м	Высота до крон, м	Полнота	Влажность, %	
							покров	под- стилка
55	27.06	13.20	0	5,4	1,7	0,6	7	15
56	»	14.30	+5	4,4	1,6	»	8	13
57	28.06	10.38	-10	2,8	1,1	0,5	9	14
58	»	11.17	+10	3,2	0,9	0,6	11	15
59	»	11.43	+5+10	4,3	1,4	0,4	14	29
60	»	13.05	0+10	2,9	0,9	0,3	10	16
61	»	13.36	+5+10	»	0,8	»	8	19
62	»	14.07	0+5	3,8	1,0	0,4	»	15
63	29.06	10.55	0	4,3	1,2	0,5	14	16
64	»	11.33	+10+15	2,7	1,0	0,6	9	15
65	»	12.03	+10	2,0	0,7	0,3	9	9
66	»	13.25	-10	3,0	1,1	0,5	10	17
67	»	14.07	+5	4,5	2,0	0,6	11	14



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Метеорологическая обстановка опытов

Опыт	Облачность (общая)	Ветер		Температура, °С	Дефицит влажности, мб	Показатель засухи ( $\Sigma d_7$ ), мб	Комплек- сный показа- тель Несте- рова	Класс пожар- ной опасно- сти
		направ- ление	ско- рость, м/сек					
1960 г.								
1	0,4	ЮЗ	3,5	22,0	14,6	—	—	—
2	»	Ю	»	20,7	13,2	—	—	—
3	0,5	СЗ—ЮВ	1,9	20,3	11,0	2,1	365	II
4	»	ЮЗ—С	»	21,9	14,1	»	»	»
5	1,0	Перем.	2,5	14,7	5,3	4,4	515	»
6	0	ЮЗ	1,4	25,2	15,1	0	586	»
7	0,2	ЮЮЗ	2,0	26,0	12,4	2,0	1240	III
8	»	»	»	»	14,1	»	»	»
9	0,4	ЮЗ	1,3	26,2	10,9	»	1543	»
10	0,6	З	2,3	27,4	14,3	»	»	»
11	Дымка	ЮЗ	1,4	22,0	9,0	»	1750	»
12	»	ЮЗ—СЗ	1,5	23,0	11,8	»	»	»
13	0	З	1,7	23,8	15,9	—	334	II
14	»	»	»	30,0	22,0	—	»	»
15	0,6	В	1,0	23,0	13,5	—	672	»
16	0,8	СЗ	1,5	25,0	15,9	—	»	»
17	»	»	2,5	»	15,2	—	»	»
18	»	С	»	25,7	16,4	—	»	»
19	1,0	»	2,1	25,5	14,4	—	»	»
20	0,8	ССЗ	1,2	19,2	6,3	0	134	I
21	1,0	СЗ	»	»	5,9	»	»	»
22	0,8	ЗСЗ	1,4	18,2	7,9	1,3	301	II
23	»	С	»	20,9	10,1	»	»	»
24	1,0	СЗ	0,8	19,0	10,5	»	»	»
25	»	Ю	2,1	17,6	6,4	»	»	»
26	»	ЗСЗ	2,3	25,6	16,5	2,4	711	»
27	»	С	»	22,8	10,3	»	»	»
28	»	»	»	22,0	10,1	»	»	»
29	»	ССЗ	2,5	21,0	4,7	2,5	955	»
30	»	»	»	19,6	—	»	»	»
31	»	С—СВ	1,2	19,0	—	»	»	»
32	»	С	0,9	23,4	13,0	»	1109	III
33	»	»	1,5	23,7	13,5	»	»	»
34	»	—	0	22,8	10,5	»	»	»
35	0,9	СЗ	1,4	23,0	9,8	3,5	0	I
36	1,0	Ю	1,0	22,5	9,3	»	»	»
37	»	Перем.	1,1	20,5	9,1	2,8	204	»

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (продолжение)

Опыт	Облачность (общая)	Ветер		Температура, °С	Дефицит влажности, мб	Показатель засухи ( $\Sigma d_7$ ), мб	Комплексный показатель Нестерова	Класс пожарной опасности
		направление	скорость, м/сек					
38	1,0	ССВ	1,5	20,8	9,8	2,8	204	I
39	»	—	0	21,3	11,2	»	»	»
40	»	СЗ	1,2	19,9	9,3	»	»	»
41	»	ССВ	1,5	20,0	8,4	»	»	»
42	0,5	Ю	1,3	22,0	10,7	5,2	460	II
43	»	З	1,7	22,3	11,5	»	»	»
44	0,6	С	2,2	23,9	13,9	»	»	»
45	0,5	СЗ	1,9	23,5	13,4	»	»	»
46	0,4	—	0	22,7	11,1	»	»	»
47	0,6	С	0,6	23,0	12,7	»	»	»
48	1,0	»	1,6	22,0	11,1	5,5	732	»
49	»	»	»	»	10,9	»	»	»
50	»	ССЗ	1,2	22,5	12,1	»	»	II
51	»	СЗ	1,6	22,7	12,8	»	»	»
52	»	»	1,5	23,6	14,3	»	»	»
53	0	СВ	1,7	26,0	17,5	»	1193	III
54	»	В	2,2	25,4	17,8	»	»	»
55	»	СВ	»	24,9	18,0	»	»	»
56	»	С	1,5	27,1	19,0	»	»	»
57	»	С	1,2	25,9	18,7	8,3	1621	»
58	»	»	1,5	27,7	22,0	»	»	»
59	»	»	1,6	27,1	21,3	»	»	»
60	0,3	»	1,1	»	14,3	11,5	2172	»
61	0,7	СЗ	1,3	27,0	»	»	»	»

1961 г.

1	0	СВ	1,1	8	5,5	—	—	—
2	»	»	»	9	5,6	—	—	—
3	—	»	2,1	14	11,3	—	—	—
4	0,2	Ю—ЮЗ	3,7	21	16,7	6,1	1070	III
5	0	—	0	22	20,5	15,8	4863	»
6	1,0	Ю	0,7	11	5,5	4,3	196	I
7	0,9	»	0,8	12	6,2	»	»	»
8	1,0	»	»	17	10,9	»	»	»
9	0,9	»	1,0	16	10,5	»	»	»
10	0,8	СЗ	1,4	6	4,9	10,5	428	II
11	0,6	З—СЗ	2,1	5	3,8	»	»	»
12	0,7	СЗ	1,2	6	4,3	»	»	»
13	»	»	2,4	8	5,9	»	»	»
14	0,1	ЮЗ	0,5	20	13,1	0,4	483	»

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (продолжение)

Опыт	Облачность (общая)	Ветер		Темпе- ратура, °С	Дефицит влажности, мб	Показатель засухи ( $\Sigma d_7$ ), мб	Компле- ксный по- казатель Нестерова	Класс пожар- ной опас- ности
		направ- ление	ско- рость, м/сек					
15	0,1	ЮЗ	0,9	19	13,7	0,4	483	II
16	0	СЗ	0,7	20	15,6	»	»	»
17	0,1	СЗ	0,6	»	15,7	»	»	»
18	0,5	С	0,9	17	10,3	»	723	»
19	0,6	»	»	15	8,9	»	»	»
20	1,0	»	0,6	7	4,0	0,8	780	»
21	»	СВ	0,5	9	5,2	»	»	»
22	»	»	»	»	5,3	»	»	»
23	»	СЗ	»	»	5,1	»	»	»
24	0,2	ЮЗ	»	11	6,6	»	987	»
25	»	»	0,7	»	6,3	»	»	»
26	0,4	»	0,6	12	6,9	»	»	»
27	0,3	ЮЮЗ	0,7	»	7,0	»	»	»
28	0,4	»	1,2	15	9,9	»	»	»
29	0,9	ЮЗ	0,9	17	8,8	3,0	1177	III
30	1,0	Ю	0,8	18	8,9	»	»	»
31	»	ЮЮЗ	»	19	10,5	»	»	»
32	0	СВ—З	0,3	18	12,0	»	1393	»
33	0,1	С	0,7	20	14,2	»	»	»
34	0	СЗ	»	»	16,2	»	»	»
35	0,9	ЮЗ	0,6	14	9,0	»	1627	»
36	1,0	ЗСЗ	1,0	15	9,9	»	»	»
37	0,1	СЗ	1,2	19	14,4	»	»	»
	Дымка							
38	0,8	СЗ—З	1,0	20	15,5	»	»	»
39	1,0	СЗ	1,4	»	15,9	»	»	»
40	0	З—С	0,8	23	18,0	0	551	II
41	»	СЗ—СВ	0,5	25	20,5	»	»	»
42	»	З	0,6	21	14,2	»	1076	III
43	»	СВ	0,5	22	16,0	»	»	»
44	»	Перем.	0,7	23	17,1	»	»	»
45	»	»	0,8	24	19,7	»	»	»
46	»	СВ	1,4	26	23,5	»	»	»
47	»	В	0,7	24	19,1	2,3	2395	»
48	»	ЮВ	0,9	25	21,0	»	»	»
		Перем.						
49	»	СВ	0,8	27	24,3	»	»	»
50	»	ВСВ	1,0	29	25,8	»	»	»
51	»	»	1,5	»	»	»	»	»
52	»	С. порыв.	0,6	25	14,1	»	3289	»
53	»	СВ	0,9	26	18,0	»	»	»

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (окончание)**

Опыт	Облачность (общая)	Ветер		Температура, °С	Дефицит влажности, мм	Показатель засухи ( $\Sigma d_7$ ), мм	Комплексный по- казатель Нестерова	Класс пожар- ной опасно- сти
		направ- ление	ско- рость, м/сек					
54	0	С	0,8	27	19,6	2,3	3289	III
55	»	СВ	0,9	30	29,8	»	»	»
56	»	»	0,8	32	34,3	»	»	»
57	»	—	0	25	16,5	»	4105	»
58	»	С	0,7	26	17,8	»	»	»
59	»	СЗ	0,8	27	20,6	»	»	»
60	»	ЮВ	0,9	31	29,8	»	»	»
61	0,1	В	1,0	»	»	»	»	»
62	»	СВ	1,1	32	31,8	»	»	»
63	0	ССВ	0,8	25	13,3	»	4607	»
64	»	Перем.	»	»	12,9	»	»	»
65	»	ЮВ, перем.	1,0	26	13,7	»	»	»
66	»	Перем.	1,1	29	17,6	»	»	»
67	»	»	1,2	31	20,7	»	»	»

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Характеристика пожара и последствий

Опыт	Скорость движения огня, м/мин			Высота пламени, дм	Глубина на кромки, дм	Глубина прогорания, см		Высота нагара, дм	Повреждение кров	
	фронт	флаг	тыл			покров	подстилка		доля	макс. выс.
1960 г.										
1	2,44	1,30	0,55	2,5	3,5	17	0	—	0	—
2	2,28	1,20	0,40	10	4	18	»	23	»	—
3	1,09	0,81	0,22	3	2	25	»	—	»	—
4	1,08	0,60	0,42	»	3	»	0,5	—	»	—
5	1,04	0,48	0	»	3,5	18	»	—	»	—
6	0,52	0,31	0,18	2	2	30	»	—	»	—
7	1,20	0,71	0,42	4	3,5	37	»	—	»	—
8	1,22	0,75	0,47	5	6	»	1	—	»	—
9	0,83	0,44	0,24	1,5	1,5	—	0	—	»	—
10	0,85	0,48	0,31	3	3,5	20	»	—	»	—
11	1,73	0,67	0,26	4	6	50	0,5	—	»	—
12	1,72	0,65	0,34	»	»	»	»	—	»	—
13	1,26	0,74	0,41	»	3	3,5	1,5	6	0,7	8
14	0,85	0,67	0,17	3	»	5	»	»	0,3	»
15	0,68	0,35	0,23	4	»	3,5	2	5	»	6
16	0,93	0,44	0,40	10	5	»	2,5	18	0,8	12
17	1,57	0,81	0,35	6	4	»	2	11	0,5	8
18	1,13	0,68	»	7	4,5	4	»	12	0,6	»
19	1,28	0,48	0,22	4	3	»	»	5	0,3	4
20	1,37	0,60	0,26	2	»	4,5	0,5	3	0,2	»
21	1,01	0,66	0,33	»	»	»	»	»	0,1	2
22	0,94	0,51	0,40	4	»	4	1,5	6	0,2	4
23	0,51	0,32	0,33	3	»	»	»	4	0,1	2
24	0,66	0,44	0,24	2	2	4	1,5	4	0,2	2,5
25	1,18	0,53	0,32	»	3	»	1	3	»	3
26	0,96	0,40	0,35	3	»	3	0,5	4	0,3	»
27	»	0,42	0,34	»	»	4	»	6	0,2	»
28	0,70	0,41	0,29	»	»	3	»	4	0,1	2
29	—	—	—	»	»	—	—	»	0,7	4
30	1,57	0,71	0,26	2	»	4	0,5	3	0,3	3
31	0,59	0,27	0,18	1	2	»	»	2	0,1	1,5
32	0,78	0,33	0,22	2	2,5	3	0	4	0,2	3
33	0,86	0,47	0,26	»	»	»	0,5	5	»	5
34	0,39	0,26	0,21	1	1,5	»	»	2	0,1	2
35	0,93	0,38	0,20	3	4,5	3,5	»	5	0,3	6
36	0,55	0,33	0,22	4	5,5	4	»	7	0,5	7
37	0,91	0,63	0,24	2	2,5	3	0	3	0,1	3

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (продолжение)**

Опыт	Скорость движения огня, м/мин			Высота пламени, дм	Глубина кромки, дм	Глубина прогорания, см		Высота нагара, дм	Повреждение крон	
	фронт	фланг	тыл			покров	подстилка		доля	макс. выс.
38	0,87	0,32	0,20	3	3,5	3	0,5	5	0,4	6
39	0,46	0,31	0,21	2	2,5	»	»	3	0,3	10
40	0,52	0,28	0,20	3	3	2,5	»	4	0,2	4
41	1,17	0,42	0,31	»	4,5	3	»	»	»	»
42	1,10	0,51	0,32	4	5	3,6	1	8	0,4	10
43	0,93	0,60	0,28	»	4,5	3,1	»	5	0,2	4
44	1,04	»	0,33	5	6,5	3	0,5	8	0,7	10
45	1,27	0,37	0,20	4	5	3,1	1	6	0,3	4
46	0,72	0,42	0,27	»	4,5	3	0,5	5	»	7
47	0,50	0,31	0,23	3	4	»	1,5	»	0,2	2
48	1,08	0,51	0,27	»	5	3,9	1	»	0,5	»
49	0,81	0,46	0,25	4	»	3,7	»	»	0,3	6
50	0,60	0,34	0,21	»	5,5	4,1	1	7	0,3	8
51	1,34	0,47	0,33	»	»	3	»	6	0,4	5
52	0,90	0,65	0,28	5	6,5	2	»	8	0,3	6
53	1,77	0,76	0,31	6	»	3	1,5	12	0,4	10
54	1,71	0,80	0,41	»	8	3,2	»	13	0,6	9
55	1,49	0,62	0,37	»	»	»	»	11	0,8	7
56	1,61	0,68	0,29	»	»	3	»	12	0,6	10
57	1,29	0,66	»	»	»	3,7	2	14	0,7	8
58	1,58	0,87	0,31	»	»	5,4	»	12	0,8	12
59	1,56	0,64	0,38	7	»	4,7	»	14	0,7	10
60	0,75	0,38	0,21	6	5	6,1	2,5	11	0,5	6
61	1,17	0,58	0,31	7	4,5	»	»	14	0,2	»

1961 г.

1	0,92	0,28	0,15	1,5	2	2,5	0	2,5	0,2	2,5
2	0,58	0,31	0,25	1	1	»	»	1,2	0,2	1,5
3	3,30	1,25	0,85	3	5	15	»	—	—	—
4	4,68	1,82	1,47	4,5	9	20	»	—	—	—
5	—	—	—	—	—	3	1	7,5	0	—
6	0,48	0,29	0,29	1,5	2	2,5	0	2,1	0,1	2
7	0,46	0,35	0,29	2	»	3,5	»	2,4	0,2	3
8	0,88	0,44	0,25	2,5	3	4,5	»	5,2	»	6
9	0,92	0,44	0,28	3	4	4	0,25	5,4	0,3	»
10	0,95	0,36	0,15	»	»	4,5	»	4,8	0,1	2
11	0,82	0,54	0,24	»	»	3,5	0	»	»	3
12	0,92	0,42	0,26	2	3	»	0,25	3,4	0,2	»
13	1,26	0,62	»	3	4	4,5	0,5	4,9	0,1	4
14	0,52	0,25	0,12	1,5	2	3	0	2,3	0,1	3

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3** (продолжение)

Опыт	Скорость движения огня, м/мин			Высота пламени, дм	Глубина на кромки, дм	Глубина прогорания, см		Высота нагара, дм	Повреждение крон	
	фронт	фланг	тыл			покров	подстилка		доля	макс. выс.
15	1,02	0,50	0,50	2,5	3	4	0	3,4	0,2	4
16	1,35	0,44	0,69	3,5	5	»	»	6,2	0,4	8
17	1,66	0,43	0,32	4	6	»	»	6,5	»	6
18	0,45	0,35	0,26	1,5	2	2,5	»	2,0	0,05	1
19	»	0,31	0,23	»	»	»	»	2,2	0,1	3
20	0,40	0,27	0,19	1	»	2	»	1,2	»	2,5
21	0,52	0,36	0,22	1,5	»	3	»	2,1	0,2	3
22	0,40	0,28	0,31	»	»	2,5	»	1,9	0,1	2
23	0,45	0,30	0,33	2	3	3,5	»	2,6	»	»
24	0,35	0,22	0,19	1,5	2	3	»	2,4	0,05	1
25	0,64	0,42	0,30	2	3	3,5	»	3,2	0,3	3,5
26	0,47	0,33	0,23	2,5	4	»	»	3,6	0,2	3
27	0,51	0,32	0,30	»	»	4,5	»	3,3	0,15	2
28	1,36	0,93	0,16	4	7	»	»	7,4	0,3	6
29	1,12	0,58	0,26	2,5	4	4	»	4,2	0,2	3
30	0,97	0,46	0,21	3	5	4,5	0,25	4,6	»	»
31	0,61	0,41	0,25	2,5	4	4	»	4,2	0,3	5
32	0,47	0,44	0,31	»	»	»	0	4,6	0,2	2,5
33	0,66	0,29	0,19	3	5	»	0,25	5,3	0,3	5
34	0,79	0,41	0,24	2,5	4	»	»	3,5	0,2	4
35	0,48	0,27	0,22	»	»	3,5	»	»	0,3	7
36	0,61	0,37	0,31	3	6	»	»	4,1	0,1	2
37	0,85	0,49	0,22	4	9	»	»	6,6	0,2	10
38	0,75	0,61	0,19	5	10	»	»	9,6	0,3	12
39	1,90	0,77	—	6	11	»	0,5	11,4	0,4	10
40	0,59	0,37	0,33	2	3,5	3	0	3,4	0,2	4
41	1,10	0,53	0,29	3,5	6	4	»	5,9	0,6	12
42	0,45	0,22	0,09	2,5	4	3	0,25	2,9	0,05	3
43	0,69	0,40	0,29	3	6	4	0	4,3	0,2	5
44	0,54	0,41	0,27	»	5	»	»	4,7	0,4	10
45	0,69	0,42	0,34	2,5	4	»	0,25	4,4	0,3	5
46	1,02	0,95	0,32	6	14	»	»	9,2	0,7	12
47	0,79	0,41	»	3	5	»	»	4,1	0,5	10
48	0,83	0,47	0,38	3,5	»	»	»	5,1	»	12
49	0,72	0,52	0,33	2,5	4	»	»	4,5	0,6	10
50	1,11	0,45	0,26	3	5	3,5	»	5,6	0,2	5
51	1,75	0,49	0,30	3,5	»	»	»	10,0	0,3	8
52	0,56	0,26	0,21	2	4	»	»	3,4	0,2	6
53	2,11	0,67	0,37	5	10	4,5	0,37	7,5	0,7	10
54	0,95	0,65	0,69	2,5	4	4	0,25	3,4	0,4	3

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (окончание)**

Опыт	Скорость движения огня, м/мин			Высота пламени, дм	Глубина кромки, дм	Глубина прогорания, см		Высота нагара, дм	Повреждение кроны	
	фронт	фланг	тыл			покров	подстилка		доля	макс. выс.
55	0,89	0,55	0,34	5	11	5	0,5	8,4	0,7	10
56	0,95	0,59	0,43	4	7	4	0,37	6,7	0,8	»
57	0,79	0,38	0,33	2,5	4	5	0,25	4,0	»	»
58	1,47	0,97	0,37	»	5	3,5	»	3,5	0,7	8
59	0,67	0,42	0,38	»	4	»	»	3,9	0,5	6
60	1,08	0,64	0,42	3	5,5	»	»	4,8	0,9	10
61	1,55	0,64	0,48	5	8	4,5	0,37	7,0	0,5	12
62	0,94	0,60	0,37	3,5	5	4	»	5,1	0,8	4
63	0,60	0,40	0,32	»	»	»	0,25	6,3	0,5	»
64	0,82	0,72	0,42	3	6	»	»	3,5	0,8	10
65	2,27	0,83	0,32	4	9	4,5	0,37	6,1	0,9	12
66	1,45	0,68	0,75	3,5	8	4	0,25	5,6	0,8	8
67	0,76	0,45	0,28	»	5	»	»	5,5	0,6	5



## СОДЕРЖАНИЕ

---

Н. П. Курбатский. Проблема лесных пожаров . . . . .	5
Э. Н. Валендик. Проникновение и трансформация ветра в сосняках	61
В. В. Франк. Лесные пожары и состояние атмосферы . . . . .	83
В. В. Фурьев. Шелкопрядники в Западно-Сибирской низменности и пожары в них . . . . .	103
Т. С. Кузнецова, М. А. Софронов, М. П. Смирнов. Зарастание гарей в кедровниках Западного Саяна . . . . .	124
Г. А. Амосов. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров . . . . .	152

### **Возникновение лесных пожаров**

*Утверждено к печати Институтом леса и древесины  
Сибирского отделения Академии наук СССР*

Редактор издательства *В. Н. Киселев*  
Технический редактор *В. В. Волкова*

Сдано в набор 24/VI 1964 г. Подписано к печати 19/IX 1964 г. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печ. л. 11,5. Уч.-изд. л. 12,1. Тираж 2.200 экз. Т-12255. Изд. № 4008/64.  
Тип. зак. № 5237. Темплан 1964 г. № 1036.

**Цена 85 коп.**

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

---

2-я типография Издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10