

Министерство образования и науки Российской Федерации
Байкальский государственный университет экономики и права

Л. В. Каницкая

ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ

Учебное пособие

Иркутск
Издательство БГУЭП
2013

УДК 630*43(075.8)
ББК 43.4я7
К19

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Байкальского государственного университета экономики и права

Рецензенты д-р хим. наук ФГКОУ ВПО ВСИ МВД России
Е. Ю. Ларионова
зам. руководителя Агентства лесного хозяйства
Иркутской области В. Ф. Кузьма

К19 Каницкая Л. В.
Лесная пирология : учеб. пособие / Л. В. Каницкая. – Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2013. – 206 с.

Изложены современные теоретические знания о процессе горения; рассмотрены организационно-управленческие аспекты деятельности по предупреждению, обнаружению и тушению лесных пожаров; представлена классификация лесных пожаров; описаны основные способы предупреждения, обнаружения и ликвидации лесных пожаров, влияние пожаров на лесные фитоценозы, а также методы оценки потерь древесины от лесных пожаров.

Для студентов бакалавриата всех форм обучения по направлению подготовки 250100 Лесное дело.

ББК 43.4я7

© Каницкая Л. В., 2013
© Издательство БГУЭП, 2013

Оглавление

1. Введение в дисциплину.....	7
1.1. Значение дисциплины «Лесная пирология» и этапы ее становления. Связь с естественными, гуманитарными науками и с инженерными дисциплинами.....	7
1.2. Краткая реконструкция истории формирования лесов на планете.....	10
1.3. О роли естественных лесных пожаров.....	14
1.4. О роли антропогенного фактора в возникновении лесных пожаров.....	17
1.5. Лесные ресурсы мира, России и значение лесов в жизнеобеспечении человека.....	19
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>23</i>
2. Физико-химические основы теории горения.....	25
2.1. Основные понятия теории горения.....	25
2.1.1. Энергетика процесса горения.....	27
2.1.2. Химические процессы при горении.....	29
2.1.3. Тепловое самовозгорание.....	35
2.1.4. Вынужденное воспламенение (зажигание).....	37
2.1.5. Понятие о кинетическом и диффузионном горении.....	38
2.2. Физико-химические процессы распространения пламени и прекращения горения.....	40
2.2.1. Материальный и тепловой баланс процессов горения.....	43
2.2.2. Определение теплоты сгорания. Теплотворная способность. Теоретическая температура горения.....	47
2.2.3. Физические и химические принципы прекращения горения.....	51
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>55</i>
3. Причины и условия возникновения лесных пожаров. Характеристики лесного горючего материала. Классификация лесных пожаров	58
3.1. Источники тепла в лесу, причины и условия возникновения лесных пожаров.....	58
3.2. Характеристики лесного горючего материала.....	61
3.3. Классификация лесных пожаров и их характеристика.....	63
3.3.1. Элементы пожара.....	63
3.3.2. Низовой пожар.....	65
3.3.3. Верховой пожар.....	66
3.3.4. Почвенный пожар.....	68

3.3.5.	Пятнистый пожар.....	70
3.4.	Прогнозирование пожарной опасности.....	70
3.4.1.	Пирологические свойства лесных горючих материалов.....	70
3.4.2.	Физика горения лесных горючих материалов.....	74
3.4.3.	Связь пожаров с природой леса.....	76
3.4.4.	Влияние рельефа на лесные пожары.....	81
3.4.5.	Классы пожарной опасности по условиям погоды.....	81
3.4.6.	Методы оценки пожарной опасности.....	82
	<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	89
4.	Охрана лесов от пожаров. Предупредительные и подготовительные меры предотвращения и ограничения распространения пожаров.....	91
4.1.	Государственная лесная охрана: задачи и документы, регламентирующие организацию работ по охране лесов от пожаров.....	91
4.2.	Виды работ и документов по противопожарному обустройству лесов.....	91
4.3.	Противопожарная профилактика.....	93
4.3.1.	Меры предупреждения возникновения лесных пожаров.....	94
4.3.2.	Меры по ограничению распространения лесных пожаров (противопожарное обустройство территории лесного фонда).....	97
4.3.3.	Организационно-управленческая деятельность по обеспечению противопожарной безопасности.....	104
5.	Организация и способы обнаружения лесных пожаров.....	106
5.1.	Организация обнаружения лесных пожаров.....	106
5.1.1.	Наземное патрулирование лесов.....	106
5.1.2.	Использование пожарно-наблюдательных вышек, мачт, пожарно-наблюдательных пунктов и современной наземной системы обнаружения пожаров «Лесной дозор»	107
5.1.3.	Авиационное патрулирование.....	111
5.1.4.	Спутниковый мониторинг лесных пожаров.....	116
5.2.	Сравнение эффективности различных способов обнаружения пожаров.....	122
	<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	123
6.	Борьба с лесными пожарами.....	126
6.1.	Стратегия и тактика тушения лесных пожаров.....	126
6.1.1.	Организация тушения лесных пожаров.....	126
6.1.2.	Классификация лесных пожаров по уровню сложности и площади, охваченной огнем.....	127

6.1.3.	Стратегия и тактика тушения лесного пожара.....	129
6.1.4.	Этапы тушения лесного пожара.....	131
6.1.5.	Инструменты, оборудование и оснащение для тушения лесных пожаров.....	133
6.1.6.	Способы тушения низовых пожаров.....	135
6.1.7.	Способы тушения верховых пожаров.....	144
6.1.8.	Способы тушения пятнистых пожаров.....	146
6.1.9.	Способы тушения почвенных (подземных) пожаров.....	147
6.1.10.	Способы тушения лесных пожаров в гористой местности.....	150
6.1.11.	Способы тушения пожаров на не покрытых лесом площадях.....	152
6.1.12.	Способы тушения крупных пожаров.....	153
6.2.	Тушение лесных пожаров с помощью авиационных средств.....	155
6.3.	Искусственное вызывание осадков.....	163
	<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	164
7.	Последствия лесных пожаров.....	165
7.1.	Общие положения.....	165
7.1.1.	Дифференциация гарей и горельников.....	167
7.2.	Характеристика гарей и горельников.....	168
7.2.1.	Гари с отсутствием древостоев, уничтоженных огнем.....	168
7.2.2.	Гари с древостоями, утратившими жизнеспособность.....	168
7.2.3.	Горельники с древостоями, сохранившими жизнеспособность.....	169
7.3.	Факторы, влияющие на восстановление леса после пожара... ..	171
7.3.1.	Изменения почв.....	171
7.3.2.	Изреживания	172
7.3.3.	Влияние насекомых.....	172
7.3.4.	Влияние дереворазрушающих грибов.....	174
7.3.5.	Естественное восстановление лесных фитоценозов... ..	175
7.4.	Деловые качества древесины после пожара.....	177
8.	Пожарная травматология древесных пород.....	178
8.1.	Огневые повреждения древесных пород.....	178
8.1.1.	Зависимость огневых поражений от породы и возраста древостоя.....	178
8.1.2.	Огневые поражения корней и ствола.....	179
8.1.3.	Связь размеров наружного обугливания коры со степенью поражения камбия деревьев различных пород.....	180
8.1.4.	Влияние огневых ранений на жизнеспособность различных древесных пород.....	182
8.2.	Скорость зарастания пожарных ран (на примере сосны).....	184

8.3.	Изменение прироста и анатомические изменения в древесине...	186
8.4.	Воздействие пожаров на нижние ярусы леса и травянистую растительность.....	190
	<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	192
9.	Применение управляемого огня в лесном хозяйстве.....	194
9.1.	Контролируемое выжигание на сплошных вырубках.....	194
9.2.	Контролируемое выжигание в лесах.....	194
	<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	197
10.	Порядок определения ущерба, причиненного уничтожением или повреждением леса в результате поджога или небрежного обращения с огнем. Порядок определения потерь товарной ценности леса в результате пожара.....	198
10.1.	Определение потерь древесины на корню в результате верховых и подземных пожаров.....	198
10.2.	Определение потерь древесины на корню в результате низовых пожаров.....	199
10.3.	Порядок проведения оценки потерь древесины на корню.....	201
	<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	202
	Приложение.....	203
	Список использованной и рекомендуемой литературы.....	204

1. Введение в дисциплину

1.1. Значение дисциплины «Лесная пирология» и этапы ее становления. Связь с естественными, гуманитарными науками и с инженерными дисциплинами

Роль огня в лесу неоднозначна и весьма многообразна. Огонь оказывает мощное влияние на формирование ландшафтов, поскольку обуславливает процессы смены пород, влияет на возрастную структуру древостоев, изменяет состав и численность фауны, подавляет либо, напротив, стимулирует развитие разнообразных почвенных микроорганизмов. С одной стороны огонь, поражая древесину деревьев, снижает устойчивость леса к различным заболеваниям, с другой стороны – уничтожает насекомых-вредителей, грибковые источники инфекций. Пожары в лесу приводят к коренным изменениям лесных биогеоценозов. Причем в разных географических широтах, в разных по характеру лесах и при различных видах пожаров изменения эти могут существенно отличаться друг от друга. Влияние огня на равновесие в природе столь велико, что появилась новая дисциплина: «Лесная пирология» или «Fire ecology» (в США – пожарная экология). Термин «пирология» происходит от греч. *pur* – огонь и *logos* – слово, учение.

Самая сложная задача в настоящее время – это исследование природы пирогенных лесных биоценозов в совокупности.

Определения

Пожар в лесу – это неконтролируемое горение растительности, стихийно распространяющееся по лесной территории

Лесная пирология – дисциплина, изучающая природу лесных пожаров и вызываемых ими изменения в лесу, разрабатывает методы борьбы с лесными пожарами и их отрицательными последствиями, определяет возможности и пути использования положительной роли огня в лесном хозяйстве

Краткая история формирования дисциплины. Отдельные вопросы охраны лесов от пожаров ставились в России уже в конце XIX в. (Н. С. Шафранов, 1872 г., П. В. Баранецкий, 1880 г.). В начале XX в. в литературе стали освещаться вопросы влияния лесных пожаров на возобновление и смену древесных пород, на возрастное строение древостоев (А. Граков, А. Я. Гордягин, В. Н. Сукачев, А. В. Тюрин и др.). В 20–30-х гг. XX в. теоретическими вопросами охраны лесов от пожаров занимались А. А. Строгий, М. Е. Ткаченко, Н. П. Кобранов и др., а также лесоводы-практики. Работы этого периода носят описательный характер с указанием видов ущерба от лесных пожаров и способов борьбы с ними.

Экспериментальное изучение пожаров в таежных лесах было начато в 30-х гг. Установлены основные закономерности природы лесных пожаров и их последствий, заложены теоретические основы лесной пирологии (И. С. Мелехов, А. А. Молчанов, П. П. Серебренников, В. В. Матренинский, В. Г. Нестеров, И. Н. Балбышев, А. А. Корчагин). В это же время разработаны первые научно обоснованные методы борьбы с лесными пожарами. В 30-х гг. в Ленинградском научно-исследовательском институте лесного хозяйства (ЛенНИИЛХ) проведены первые эксперименты по тушению лесных пожаров химическими средствами и водой при помощи специальных опрыскивателей (П. П. Серебренников, В. В. Матренинский, Н. А. Иванкин, Г. А. Мокеев и др.). Впервые в мировой практике в борьбе с лесными пожарами был применен парашют Мокеева.

В 80-х гг. в ЛенНИИЛХ под руководством Е. С. Арцыбашева создана серия лесопожарных машин, положено начало использованию космических средств для обнаружения лесных пожаров.

В целом лесная пирология как научная дисциплина сформировалась в 40–50-х гг. XX в. Заметное развитие получила она в США, Канаде, Австралии, Франции, Японии.

За рубежом наиболее крупные научные исследования лесных пожаров и методов борьбы с ними проводятся в США, Канаде, Австралии, Японии. В США охраной лесов и других природных ландшафтов от пожаров занимаются два основных ведомства – Бюро земельного управления Департамента внутренних дел и Лесная служба Департамента сельского хозяйства. В Канаде большое внимание уделяется научным разработкам охраны лесов от пожаров авиационными средствами.

Связь с естественными, гуманитарными науками и с инженерными дисциплинами. Лес как объект научного исследования – исключительно сложное природное образование: составная часть географического ландшафта, целостная совокупность травянистых, кустарниковых, древесных растений, почвы, животных и микроорганизмов, которая пронизана множественными связями. Пожар видоизменяет практически все связи, и «ухватить» одновременно все многообразие этого объекта практически невозможно.

Основными задачами «Лесной пирологии» является разработка методов и способов предотвращения, обнаружения, прекращение и устранение последствий лесных пожаров.

Для их разработки, такой объект, как пожар в лесу, исследуют с различных позиций, ухватывая различные стороны этого объекта: с позиции физика, химика, биолога, микробиолога, дендролога, зоолога, географа, метеоролога, эколога, почвовед и пр. (рис. 1.1). Полученные учеными знания используют инженеры для создания различных технических средств для предупреждения, обнаружения и тушения пожаров в лесу.

Методология деятельности



Рис. 1.1. Связь дисциплины «Лесная пирология» с науками, инженерией и организационной и управленческой деятельностью

Создаются специальные подразделения по обнаружению и ликвидации лесных пожаров, для которых целенаправленно готовят высококвалифицированные кадры (летчики-наблюдатели, пожарные). Юристы разрабатывают правовые, а экономисты – экономические аспекты, касающиеся предупреждения, борьбы с пожарами и последствий пожара. Для того чтобы привести механизм

по предупреждению, обнаружению и тушению пожаров в действие требуются огромные усилия по организации всех этих типов деятельности и управлению (рис. 1.1).

1.2. Краткая реконструкция истории формирования лесов на планете

Планета Земля, по данным палеогеографической реконструкции в палеозойскую эру, выглядела совсем иначе, чем в настоящее время (рис. 1.2). В это же время, как свидетельствуют исследования палеоботаников, стала формироваться растительность Земли. Исследуя верхнесилурийские отложения Австралии, ученые установили, что около 395 млн лет назад в конце силура (прил.) на суше появляется группа растений – сосудистые (*Tracheophyta*) (рис. 1.3). Их отпечатки также найдены в отложениях верхнего силура в Великобритании, Чехии, Украины, Казахстана. Появление сосудистых растений – одно из ключевых событий в истории биосферы. Растительность в тот период состояла из низких кустарниковых форм, которые широко распространились на суше в раннедевонское время (около 370 млн лет назад). Из первых деревьев преобладали гигантские хвои и плауны, которые достигали в высоту более 7,5 м. В позднем девоне эти деревья сформировали низкорослые леса с подлеском из примитивных папоротников и других мелких растений.

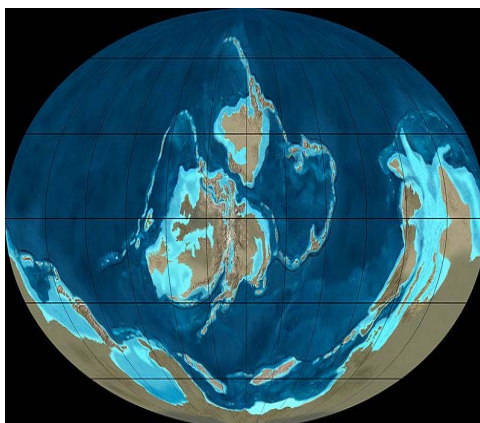


Рис. 1.2. Глобальная палеогеографическая реконструкция Земли в период силура 430 млн лет назад (Википедия)



Рис. 1.3. Сосудистые растения (*Tracheophyta*) (Википедия)

В течение каменноугольного периода, который датируется приблизительно 345 млн лет назад, на обширных территориях суши произрастали густые леса из гигантских хвощей, древовидных папоротников высотой до 30 м и плаунов. В переувлажненных низинах упавшие стволы и отмершие листья разлагались и накапливались в виде торфа. Впоследствии илистые и песчаные отложения перекрыли торф. Предполагается, что по мере накопления поверхностных отложений в условиях высокого давления происходила трансформация торфа в каменный уголь. В каменном угле в настоящее время находят многочисленные окаменевшие растительные остатки (рис. 1.4). Важным событием в каменноугольном периоде стало появление примитивных голосеменных растений – семенных папоротников и кордаитов.

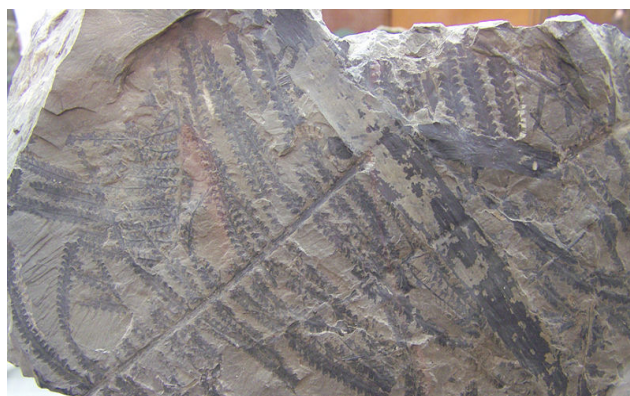


Рис. 1.4. Отпечаток ископаемого папоротника *Alloiopteris erosa*
(Википедия)

Резкие изменения в составе лесов планеты начались около 280 млн лет назад (пермский период). Планета начала меняться под воздействием мощного оледенения Южного полушария, климат становился все более суровым. Шло интенсивное горообразование. В этот период началось вымирание гигантских хвощей, древовидных папоротников и плаунов. Они были вытеснены примитивными саговниковыми (рис. 1.5) и хвойными растениями. Началось изменение облика лесов Земли. Это изменение продолжалось в течение мезозойской эры, начавшейся около 225 млн лет назад.

Основными лесообразующими породами в триасовом и юрском периодах были саговниковые и хвойные. Появились гинкговые породы. В Восточном Китае до сих пор в естественных условиях встречается один из видов – гинкго двулопастный. В триасе и юре эта порода встречалась на большей части Европы, Северной Америки, Центральной Азии и в Гренландии. Широкое распространение получили хвойные леса из видов, подобных современным араукариям. В национальном парке Петрифайд-Форест (что в переводе означает – каменный лес) в штате Аризона и в некоторых других районах земного шара сохранились окаменевшие стволы хвойных деревьев.



Рис. 1.5. Саговниковые растения достигали 1 м в диаметре и 3 м в высоту
(Википедия)

Пальмы – это одни из самых древних известных науке покрытосеменных, или цветковых растений, остатки которых обнаружены на территории штата Колорадо в триасовых отложениях. Юрский период охарактеризовался увеличением разнообразия цветковых растений. Постепенно в течение мелового периода (около 135–65 млн лет назад) господствующими стали цветковые растения, в большинстве своем деревья и кустарники, количество хвойных пород, и других голосеменных при этом снижалось. Появились предки таких современных пород как магнолия, фикус, падуб, сассифраза, дуб, клен и ива. В течение палеогена и мелового периода по всему Северному полушарию расселилась метасеквойя – «листопадное» хвойное дерево, сейчас произрастающее только во внутренних районах Китая (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Метасеквойя (Википедия)

Палеоценовый период Кайнозойской эры, начавшейся около 65 млн лет назад характеризовался теплым влажным климатом. В геологическом отношении кайнозой – эра, в течение которой континенты приобрели свое современное

очертание. Австралия и Новая Гвинея отделились от Гондваны, двинулись к северу и, в конечном итоге, приблизились к Юго-Восточной Азии. Антарктида заняла свое нынешнее положение в районе южного полюса, Атлантический океан расширился, и в конце эры Южная Америка примкнула к Северной Америке. Очертания и расположение материков стали близки современным (рис. 1.7). В этих условиях флора изобиловала покрытосеменными древесными породами и отличалась видовым разнообразием.

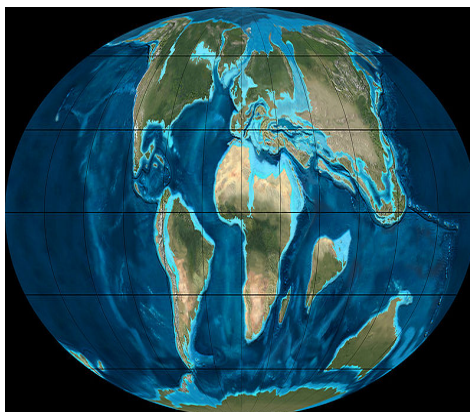


Рис. 1.7. Глобальная палеогеографическая реконструкция Земли в начале палеогена (в палеоцене), период – 65 млн лет назад (Википедия)

В Северном полушарии были распространены леса, по составу сходные с современными лесами умеренного пояса и тропиков. Самый Северный тип был представлен листопадными деревьями и другими растениями, очень похожими на деревья, произрастающие в настоящее время на востоке Азии и Северной Америки. Следующий тип флоры – третичный неотропический – относился к более низким широтам и был представлен вечнозелеными широколиственными породами, родственными современным видам, произрастающим в тропиках и субтропиках. Кайнозой – это эпоха саванн и цветковых растений.

В неогене произошло смещение типов флоры по направлению к экватору, по-видимому, из-за того, что климатические условия стали более разнообразными. Распространялись в основном травяные сообщества, площадь лесов сокращалась. Леса на всей этой территории были схожими. Доминировали широколиственные породы такие, как вяз, каштан, клен, метасеквойя и ольха. В позднекайнозойское время многие деревья, которые произрастают и в наше время в восточных районах с влажным теплым климатом, исчезли в северных широтах из-за горообразовательных процессов и изменений климата, стали преобладать хвойные породы.

Четвертичный период кайнозойской эры, который начался около 1,8 млн лет назад и продолжается до сих пор, отличался чередованием обширных материковых оледенений и теплых межледниковых эпох, подобных современной. Видовой состав лесов в Европе упрощался, так как многие древесные породы вымерли, а площадь самих лесов повсеместно значительно сократилась. Гро-

мадные территории суши периодически покрывались мощными ледниковыми покровами и затем освобождались ото льда. И в настоящее время, спустя 10 000 лет после окончания последнего оледенения, леса планеты все еще продолжают адаптироваться к климатическим изменениям. В табл. 1.1 в обобщенном виде представлена реконструкция формирования лесов на планете.

1.3. О роли естественных лесных пожаров

С появлением на Земле цветковых растений (вначале голосеменных, а затем и покрытосеменных, см. табл. 1.1) изменились и физико-химические характеристики атмосферы Земли, поскольку цветковые растения выделяют в больших количествах летучие вещества, способствующие ионизации соединений воздуха.

Таблица 1.1

Основные этапы формирования растительности на Земле*

Время (эра, период)	Виды растений
~395 млн лет назад (Палеозой, силурийский период)	Низкие кустарниковые, сосудистые растения
~370 млн лет назад (Палеозой, ранний девон)	Низкие кустарниковые, сосудистые растения, гигантские хвощи, плауны (~7 м)
~345 млн лет назад (Палеозой, карбон)	Гигантские хвощи, древовидные папоротники (до 30 м), плауны, примитивные голосеменные растения – семенные папоротники и кордаиты.
~280 млн лет назад (Мезозой, пермский период) – 225 млн лет назад (Мезозой, триасовый, юрский периоды)	Примитивные саговниковые и хвойные, гинкговые породы, цветковые растения
~135–65 млн лет назад (Мезозой, меловой период)	Цветковые растения – деревья и кустарники: магнолия, фикус, падуб, сассафрас, дуб, клен и ива; количество хвойных пород и других голосеменных снизилось, появились покрытосемянные
~65 млн лет назад (Кайнозой, палеоген)	Цветковые растения – деревья и кустарники: магнолия, фикус, падуб, сассафрас, дуб, клен и ива, хвойные, вечнозеленые широколиственные породы
~25 млн лет назад (Кайнозой, неоген)	Вяз, каштан, клен, метасеквойя, ольха, преобладают хвойные породы
~1,8 млн лет назад (Кайнозой, четвертичный период)	Появились злаковые

* Геохронологическая шкала приведена в Приложении.

Это привело к снижению электрического сопротивления воздуха. Это явление спровоцировало грозовую активность. Для возбуждения реакции горения тонкодисперсионных фракций твердых частиц или смеси паров углеводородов с воздухом достаточно всего 0,2–0,3 мДж, если это энергия электрического разряда. 0,2–0,3 мДж – это энергия, эквивалентная 1/1000 энергии, выделяемой при сгорании всего одной спичечной головки (при условии выделения ее за тысячные доли секунды). После возникновения процесса горения даже от такого

ничтожного источника энергии начинается самоподдерживающаяся и непрерывно самопродолжающаяся реакция горения с выделением огромного количества энергии – 20–45 тыс. кДж на 1 кг сгоревшего вещества.

При этом продукты сгорания (CO_2 , H_2O) нагреваются до 1000–2000 °С и более, в зависимости от условий протекания процесса горения. Именно это огромное количество тепла, выделяющееся в процессе горения, приводит к непрерывному, самоподдерживающемуся процессу горения и к уничтожению всего, что способно гореть. Остановить этот развивающийся процесс, который продолжается самопроизвольно до полного исчерпания всего горючего, в ряде случаев бывает чрезвычайно трудно, а иногда практически невозможно.

Установлено, что плотность ударов молний в лесах умеренной зоны за год в среднем составляет 2–5 на 1 км², а в тропических лесах – 50 на 1 км². Это в 100 раз больше, чем на единицу поверхности океана.

Молнии чаще всего ударяют в кроны более высоких деревьев, которые имеют разветвленную корневую систему, так как у материала таких деревьев самое низкое сопротивление. Проходя по сырой древесине, как по хорошему проводнику, ток от молнии способствует мгновенному разогреванию древесины и быстрому испарению содержащейся в ней воды. Поскольку процесс расширения паров воды практически мгновенен, то ствол разрывается, как при взрыве, но при этом не обугливается.

Другой исход случается при ударе молнии в сухостойное дерево. Величина электрического сопротивления сухой древесины почти в 100 раз выше, чем у живого дерева. Поскольку количество тепла выделяющегося при прохождении тока в соответствии с законом Джоуля – Ленца ($Q = I^2 \cdot R \cdot t$, где Q – количество теплоты, I – сила тока, R – сопротивление, t – время) увеличивается с ростом сопротивления, то его хватает для воспламенения сухой древесины, и возникновению пожара. То же самое может происходить и в редколесье или на старых гарях, только в этом случае загорается высохший напочвенный покров (мох, листовая подстилка).

На Земле в настоящее время возникает ежегодно около 20 тыс. лесных пожаров, вызванных естественными причинами. Можно предположить, что частота пожаров в древности была таким же частым явлением. Поскольку их никто не тушил, то они могли охватывать огромные территории. Естественные пожары ученые рассматривают как природный периодически действующий фактор формирования новых лесных ландшафтов.

Приверженцы эволюционной теории считают, что за миллионы лет биологические виды приспосабливались ко многим природным факторам, в том числе и к огню. В качестве примера, ими приводятся следующие наблюдения: в современных лесах такие виды растений как сосна, лиственница, береза и осина занимают значительные площади. Если бы не пожары, эти породы были бы вытеснены елью, кедром и пихтой. Считают, что в процессе эволюции светолюбивые породы приобрели повышенную устойчивость к пожарам. У сосны и лиственницы выработались такие особенности в строении, как толстая кора в ниж-

ней части стволов, глубокая корневая система, высоко поднятая крона. Слой опавшей лиственничной хвои, из-за ее особого химического состава и структуры практически не горит, поэтому огонь обходит молодые лиственничные леса. Береза при повреждении огнем дает обильную поросль от пня, а осина – прикорневую поросль. Шишки некоторых американских сосен раскрываются только после пожара, когда на почве создается благоприятная среда для прорастания семян. В тропических лесах Индии найдены древесные породы, которые устойчивы к огню даже в стадии подроста. Также было отмечено, что тщательно охраняемые от огня секвойи в американских национальных парках, стали болеть и отмирать.

Примером важной роли лесных пожаров в формирования лесных ландшафтов являются и наблюдения учеными лесов в северном полушарии Земли, в частности в Восточной Сибири. Показано, что в отсутствие пожаров в течение ~100 лет начинают бурно разрастаться зеленые мхи. Они не пропускают в почву солнечную радиацию и территория многолетней мерзлоты увеличивается. Прирост деревьев снижается. Льды начинают выжимать деревья, они принимают наклонное положение и часто засыхают (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Леса в условиях многолетней мерзлоты. Лесотундра Якутии

При этом учеными отмечается, что высококачественные, или эталонные леса, как правило, вырастают на месте пожарищ. Именно пожары обеспечивают смену ели на сосну, а хвойных пород – на лиственные.

Ученые Канады считают, что полное исключение пожаров в лесах бореальной зоны может привести к доминированию темнохвойных лесов. В последующем эти культуры начнут сами себя заглушать, поскольку произрастают из одной почвенной зоны, а новые породы после пожара могут развиваться благодаря тому, что занимают определенную почвенную нишу.

Кроме этого слабые и средние по силе естественные лесные пожары, возникающие наиболее часто, являются профилактическим средством против более сильных пожаров. Поскольку такие пожары уничтожают часть напочвенного сухого покрова, подстилку, валежник, подрост, то сильные пожары, полностью уничтожающие лес, невозможны даже в самую засушливую погоду.

Таким образом, можно сделать вывод, что естественные пожары как периодически действующий природный фактор являются необходимым условием выживания уже существующих или формирования новых типов биоценозов.

1.4. О роли антропогенного фактора в возникновении лесных пожаров

Животный мир в кайнозое отличается большим разнообразием наземных, морских и летающих видов, считается, что в кайнозое появляются и млекопитающие.

С четвертичным периодом (это всего лишь 0,5 % истории нашей планеты) ученые связывают и появление человека (рис. 1.9). Так, например, *Homo erectus* произошел от африканского *H. ergaster* примерно 1,6 млн лет назад и заселил юг Азии, включая острова Индонезии. *H. erectus* уже умел пользоваться огнем (многометровый слой золы в кострище обнаружен в пещере Чжоукоудянь; кострища возрастом более 1 млн лет обнаружены в Африке) и пожирал себе подобных (найлены и идентифицированы человеческие кости, расщепленные вдоль, для извлечения мозга, и т. п.).



Рис. 1.9. *H. erectus* (Википедия)

В науке бытует представление, что, будучи неотъемлемой частью природного комплекса, человек, подобно животным, вел себя по отношению к природе одновременно и как хищник, и как соперник, но вместе с тем он **приспосабливался** к окружающей среде, подчиняясь ее требованиям и изменяя свой образ жизни в соответствии с климатом и условиями того местообитания, в котором обосновался.

Однако в этом можно усомниться. Человек, в отличие от животных, **не приспособливается** к обстоятельствам жизни, а **приспосабливает и преобразует** природный материал под себя и под свои нужды. И с самых первых своих

шагов человечество начинает использовать природный материал и преобразовывать природу.

Нельзя исключать и того, что уже пользующийся огнем *H. erectus* мог вызывать лесные пожары не только по неосторожности. Даже современные нам аборигены Австралии, чтобы обнаружить дичь, поджигают саванну, нередко уничтожая растительность на площади 50–80 км².

Охотничьи племена на Африканском континенте, также поджигали леса, чтобы облегчить себе охоту на стада животных.

Склоны гор и холмов Средиземноморья были покрыты лесами, погибшими от пожаров еще в древности, и основными виновниками их были, как правило, пастухи.

Имеются доказательства того, что в эпоху палеолита пожары, возникавшие самопроизвольно или от поджогов, опустошали огромные пространства на севере Германии и Бельгии; об этом свидетельствуют найденные пласты пепла, обугленные остатки деревьев и обгоревшие стволы. Некоторые исследователи считают, что внезапное исчезновение хвойных пород и березы частично было вызвано деятельностью человека, который еще в эпоху палеолита, поджигал леса на обширных пространствах. Историческая реконструкция показывает, что леса в Европе существовали еще в 1000 г. до н. э., после «бронзового века» (рис. 1.10).

В Новом Свете классическим примером истребления лесов человеком допромышленной эры является территория бывшего государства Майя. Считают, что одной из причин гибели этой цивилизации Центральной Америки было истощение земель в результате применения подсечно-огневой системы земледелия мильпа. Пожары, возникавшие и возникающие по сей день по вине охотников, особенно в Африке, нанесли огромный ущерб растительным и животным сообществам, полностью их видоизменив.

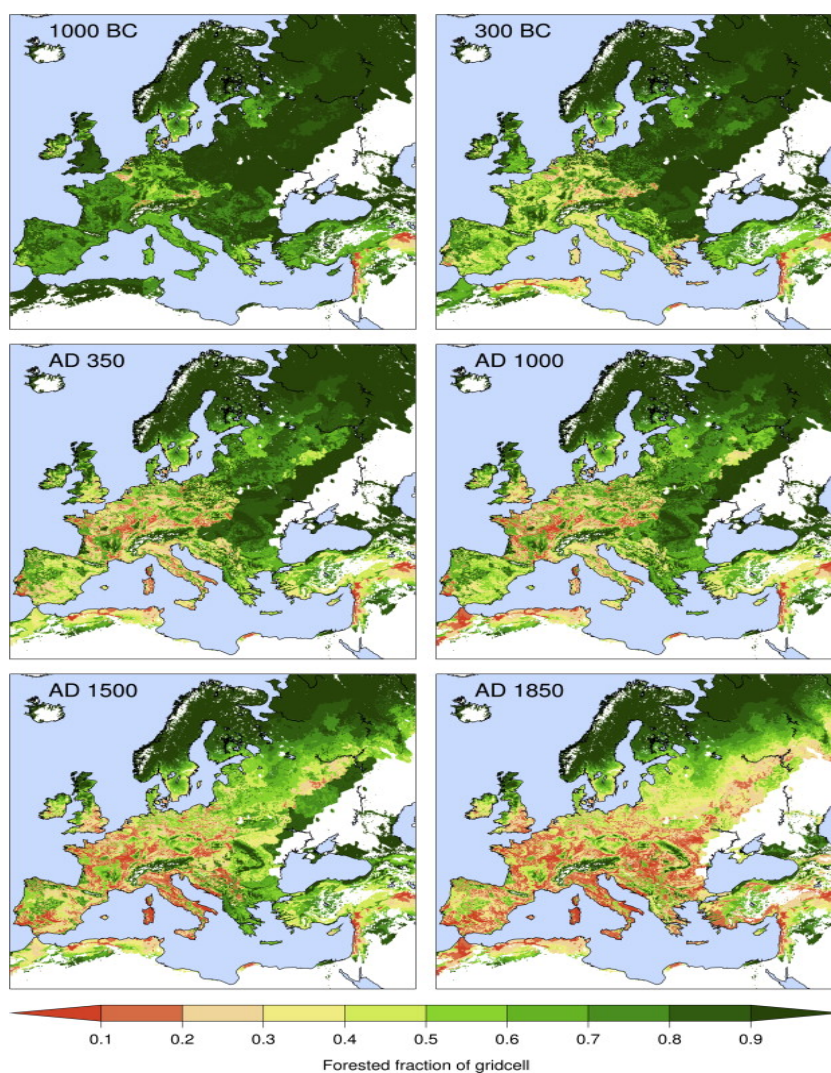


Рис. 1.10. Динамика уменьшения площади лесных территорий на Европейском континенте (<http://aftershock.su/?q=node/16745>)

1.5. Лесные ресурсы мира, России и значение лесов в жизнеобеспечении человека

До того как появилось интенсивное сельское хозяйство и промышленное производство, площадь лесов составляла примерно 6 млрд га (более 3/5 площади суши). Леса и сейчас занимают самую большую площадь (около 30 %) среди всей наземной растительности. За несколько тысячелетий интенсивной хозяйственной деятельности человечества эта площадь сократилась до 3 866 млн га, из которых только 1 5000 млн га представляют первичные сукцессии (табл. 1.2, рис. 1.11). 95 % приходится на природные леса, 5 % – на лесные плантации.

Под землями *лесного фонда* в Российской Федерации понимают как лесные, так и нелесные земли. Лесные земли – это земли, покрытые лесной растительностью и не покрытые ею, но предназначенные для ее восстановления (вырубки, гари, пустыри, прогалины). *Нелесные земли* – это земли, предназначен-

ные для нужд лесного хозяйства (дороги, просеки, сельскохозяйственные угодья), а также иные земли в границах лесного фонда (болота, неудобья и др.).

Таблица 1.2

Площади первоначально существовавших лесов и существующих
в настоящее время

Регион	Площадь первоначально существовавших лесов, км ²	Площадь оставшихся лесов, км ²	Оставшиеся леса в % от первоначально существовавших
Африка	6 799	2 302	34
Азия	15 132	4 275	28
Северная Америка	10 877	8 483	78
Центральная Америка	1 779	970	55
Южная Америка	9 736	6 800	70
Океания	1 431	929	65
Европа	4 690	1 521	32
Россия	11 759	8 083	69
Мир в целом	62 203	33 363	54

При общей площади РФ около 1690 млн га общая площадь *лесного фонда* (лесных и нелесные земли), составляют около 1146,6 млн га площадь лесов составляет 772 039 га – это около 40 % территории нашей страны и около 22 % лесных запасов всей планеты. В России также сосредоточена половина мировых хвойных лесов.

Иркутская область – одна из крупнейших в России по площади произрастающих на ее территории лесов: 71,3 млн га. Общий запас лесных ресурсов составляет 9 млрд м³. До 2000 г. основной лесобразующей породой была сосна. В 1961 г. она составляла 72 %, а в 2008 г. – только 40,9 %. Запас хвойных пород древесины в спелых и перестойных лесах Иркутской области каждые пять лет сокращаются примерно на 3,2 % в результате интенсивной вырубki и лесных пожаров.



Рис. 1.11. Расположение оставшихся на планете лесов по данным Всемирного фонда дикой природы

Вся растительность Земли в год потребляет 550 млрд т углекислого газа и выделяет 400 млрд т кислорода. 99 % кислорода атмосферы – это продукт фотосинтеза. За всю свою историю человечество расходовало ~273 млрд т кислорода при сжигании топлива. При этом в период с 1920 по 1970 г. – 250 млрд т. (1 т кислорода, занимающая 833 м³, способна обеспечить дыхание 1 человеку в течение 96 дней). Рост потребления кислорода на планете составляет 6 % в год. Чтобы не снизить необходимую для жизни долю кислорода в воздухе и обеспечить поглощение углекислого газа, возникающего от деятельности человека на Земле, человечеству необходимо перейти от охраны лесов планеты, к их воспроизводству. Однако человечество до сих пор не может обеспечить даже надлежащую работу по охране лесов от пожаров.

В настоящее время в мире регистрируют до 7 млн пожаров в год с залповыми выбросами углекислого газа и продуктов пиролиза. Экономический ущерб от лесных пожаров в РФ составляет около 13 млрд р. ежегодно. Особенно часто лесные пожары возникают в Сибири и на Дальнем Востоке. На рис. 1.12 представлены статистические данные о пожарах за 1992–2011 гг. в РФ.

Предупреждение и прекращение лесных пожаров – одно из важнейших направлений лесохозяйственной деятельности человечества. Требования, предъявляемые к людям, работающим в этой сфере человеческой деятельности, ужесточаются с каждым годом, поскольку технические средства предотвращения, обнаружения и борьбы с пожарами становятся все более наукоемкими и соответственно усложняются. Вопросы организации охраны лесов от пожара, организации пожаротушения, проведения оценки экономического ущерба от пожаров также весьма сложны и требуют основательной подготовки будущего профессионала.

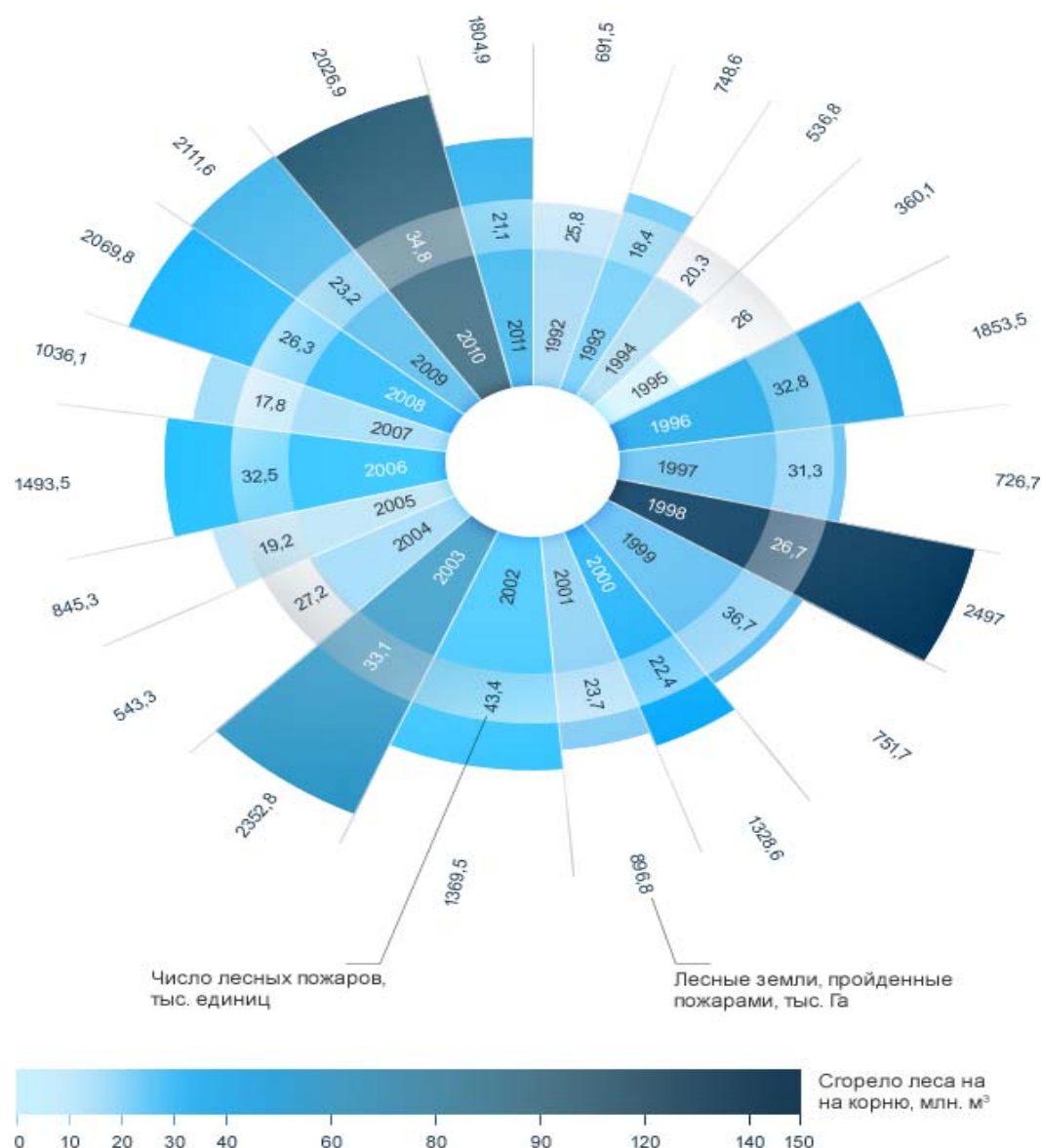


Рис. 1.12. Данные Росстата о лесных пожарах
(<http://www.lesdozor.ru/ru/problemy-obnaruzheniya-lesnyh-pozharov/statisticheskie-dannye>)

Основная цель дисциплины «Лесная пирология»: овладение современными теоретическими знаниями о процессе горения, о классификации лесных пожаров, о способах и методах предупреждения, обнаружения и тушения лесных пожаров, а также методах оценки экономического ущерба от пожаров для использования этих знаний в последующей профессиональной деятельности лесохозяйственного и лесозаготовительного профиля.

Задачи дисциплины. В результате освоения дисциплины «Лесная пирология» студент должен

знать:

- теоретические аспекты лесной пирологии: физико-химические основы процесса горения, причины и условия лесных пожаров, природу и классификацию лесных пожаров, принципы их прогнозирования;
- методы организации и механизмы проведения пожарно-профилактических действий;
- практические (инженерные) аспекты охраны лесов от пожаров: предупредительные противопожарные мероприятия, противопожарное устройство лесных территорий;
- современные способы, методы и технические средства обнаружения лесных пожаров;
- стратегию, тактику и методы тушения низовых, верховых подземных пожаров, технические средства пожаротушения;
- способы и методы оценки ущерба от пожаров;
- методы ведения и оформления рабочей документации по лесным пожарам;
- основные нормативно-справочные и директивные документы и условия их применения;

уметь:

- анализировать противопожарное состояние лесного фонда;
- производить оценку пожарной опасности по погодным условиям;
- производить экологическую и экономическую оценку ущерба от пожаров;
- оформлять нормативно-справочные и директивные документы;

владеть:

- методами организации противопожарной пропаганды;
- методами организации профилактики, охраны и защиты лесов от пожара;
- методами экономической оценки ущерба от пожаров;
- навыками оформления рабочей документации по лесным пожарам.

Вопросы для самоконтроля

1. Что является предметом «Лесной пирологии»?
2. Можно ли отнести «Лесную пирологию» исключительно к естественным наукам? Ответ обосновать.
3. Можно ли сказать, что «Лесная пирология» – это в большей степени инженерно-техническая дисциплина, чем естественная? Ответ обосновать.
4. Можете ли Вы указать место экономических знаний в дисциплине «Лесная пирология». Для каких видов работ они нужны?
5. Требуются ли организационные и управленческие знания/навыки для работника лесного хозяйства или достаточно знаний о природе лесных пожаров и способах их предупреждения и тушения?
6. Назовите период, когда на Земле появились сосудистые растения.

7. В какой период усилилась грозовая активность на Земле. С чем это было связано?
8. Может ли возникнуть пожар, если молния ударяет в высокое вегетирующее дерево? Почему? Ответ обосновать.
9. Обязательным ли условием возникновения пожара в лесу при грозе должен быть удар молнии в сухостойное дерево? Сухой слой мха? Ответ обоснуйте.
10. Назовите отличные от грозовой активности факторы, которые могут вызвать естественные лесные пожары.
11. Как Вы можете трактовать высказывание: «естественный лесной пожар»?
12. Полезны ли естественные лесные пожары?
13. Какие приспособительные механизмы, способствующие выживанию при пожарах, возникли у сосны, лиственницы, березы, осины в процессе эволюции?
14. Чем отличается человек от высших животных?
15. Что означают выражения: «естественный», «искусственный»?
16. Как Вы понимаете выражение: «антропогенное воздействие на леса планеты»?
17. Какие виды антропогенного воздействия на леса планеты кроме пожаров, вызванных действием людей, Вы можете назвать?

2. Физико-химические основы теории горения

Среди огромного количества явлений, наблюдающихся в природе, человечество издавна обратило внимание на процесс горения из-за выделения огромного количества тепла и появления пламени. Именно это и обусловило практическое использование человеком данного явления на заре своего существования. В данной главе мы рассмотрим процесс горения с физико-химических позиций.

2.1. Основные понятия теории горения

В связи со становлением наук Нового времени и развитием металлургии не как практики, а как науки, в XVII в. возникла необходимость в разработке теории горения. Германский химик Шталь (1660–1734) полагал, что в состав горючих тел входит особая материя – «флогистон», которая придает этим веществам свойство горючести. До середины XVIII в. в естествознании господствовало представление о горении как выделении флогистона, имеющего отрицательный вес:

металл + нагрев = флогистон + окалина металла;

окалина металла + флогистон + нагрев = металл.

Первым подверг сомнению флогистонную теорию М. В. Ломоносов в 1756 г. Использование в химии количественных методов исследования (весов) позволило ему трактовать процесс горения как соединение горючего вещества с «тяжелыми частицами воздуха».

Научное исследование процесса горения началось с работ французского ученого А. Лавуазье 1773 г. уже после установления роли кислорода в горении. Он доказал, что окислителем является не весь воздух, а только входящий в его состав кислород. Горение при этом определялось как соединение горючих веществ с кислородом. В первую очередь рассматривались реакции окисления веществ, содержащих водород и углерод.

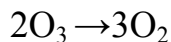
В конце XIX в. академик А. Н. Бах разработал теорию автоокисления и доказал, что горение является частным случаем общих процессов окисления.

В конце XIX в. развиваются исследования термодинамических равновесий в смеси соединений: $H_2 - H_2O - CO - CO_2 - C - O_2$, которые определяют температуру пламени и состав продуктов горения. Основа теории теплового ускорения реакции горения сформулирована в 1884 г. Вант-Гоффом.

В начале XX в. ученые ставят вопросы о скорости химических реакций и их механизмах. В результате исследований в области химической кинетики реакций окисления Н. Н. Семеновым в 1928 г. были развиты теории теплового ускорения реакций и цепных реакций горения. Эти теории позволяют объяснить механизм перехода управляемого процесса горения в неуправляемый (переход обычного горения во взрывное).

В настоящее время горением называют все быстро протекающие реакции в веществе, которое в исходном состоянии инертно. При этом решающим при

отнесении данного вида превращения вещества к реакции горения является выделение тепла и/или активных реакционных частиц, а не ее химическое содержание. Так, например, при разложении озона



кислород не потребляется, а образуется в процессе реакции, одновременно выделяется тепло и вспыхивает пламя, поэтому данную реакцию также относят к процессу горения.

Определения

Горение – физико-химический процесс, при котором превращение вещества сопровождается интенсивным выделением энергии и тепло- и массообменом с окружающей средой

Экзотермические процессы – это процессы, сопровождающиеся выделением тепла.

Эндотермические процессы – это сопровождающиеся поглощением тепла

Основой процесса горения принято считать химическую реакцию, способную протекать с прогрессирующим *самоускорением*, либо за счет механизма образования химически активных промежуточных продуктов (*цепное горение*), либо вследствие накопления выделяющегося тепла (*тепловое горение*).

При цепном горении распространение пламени происходит посредством передачи активных частиц и разветвления цепей химической реакции. При тепловом горении – посредством передачи тепла из зоны реакции к свежей порции горящего материала. В основе последнего механизма лежит процесс *диффузии* окислителя к горящему материалу. При тепловом горении цепные реакции также имеют место, но в отличие от чисто цепных процессов основной причиной ускорения реакции в этом случае является повышение температуры (*цепочно-тепловое горение*).

Горение может начаться самопроизвольно в результате *самовоспламенения* либо может быть инициировано *зажиганием*.

Определение

Самовоспламенение – процесс самоускорения реакции окисления с переходом ее в горение

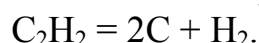
Условия термического самоускорения могут быть обеспечены для всех реакций, протекающих с большими тепловыми эффектами и *энергиями активации*.

Определение

Энергия активации в элементарных реакциях – это та минимальная энергия атомов, молекул или других частиц, достаточная для того, чтобы они вступили в химическую реакцию

Наиболее обширный класс реакций горения – это *реакции окисления*, протекающие при горении природных топлив (древесина, торф, уголь, нефть, газ), водорода и различных металлов. При этом окислителями могут выступать кислород, галогены (F, Cl, Br), нитросоединения (R–NO₂), перхлораты (MetClO₄). Под *реакцией окисления* понимают процесс потери электронов окисляющимся веществом, а под *реакцией восстановления* – присоединение электронов восстанавливаемым веществом. *Восстановители* – элементы с высоким сродством к кислороду (Ca, Al, Si, Mg и др.).

Известны процессы горения, протекающие с участием только одного исходного продукта – энергонасыщенного соединения, способного к быстрому распаду. Примером такого соединения является ацетилен, саморазложение которого происходит с выделением теплоты в 225,9 кДж/моль:



Реакциям саморазложения подвержены также озон (O₃), ацетилен (C₂H₂), гидразин (H₂N–NH₂).

2.1.1. Энергетика процесса горения

Большинство процессов горения представляет собой реакции соединения горючих веществ, содержащих углерод и водород с кислородом воздуха. Этот вид горения в курсе «Лесная пирология» представляет особый интерес, поскольку растения являются сложными природными образованиями, состоящими из низкомолекулярных и высокомолекулярных соединений, содержащих в своем составе атомы углерода, водорода и кислорода. Состав абсолютно сухой древесины всех сортов примерно одинаков [1]: [C] углерод 49–50 % масс.; [O] кислород 42–44 % масс.; [H] водород 6–7 % масс.; [A] зола 0,1–2 % масс.

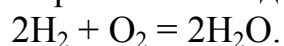
Прежде чем перейти к рассмотрению физических основ горения попытаемся на молекулярном уровне выяснить вопрос: откуда берется энергия, от выделения которой зависит нагрев вещества, появление в нем химически активных частиц и образование продуктов горения.

Для того чтобы определить количество теплоты, выделяющееся при реакции, необходимо знать теплоты образования компонентов, вступающих в реакцию (*стандартная теплота образования* вещества или *энтальпия* ΔН – это взятая с обратным знаком теплота реакции; табл. 2.1). Для оценки теплоты образования этих компонентов можно воспользоваться значениями энергии разрыва соответствующих связей (табл. 2.2).

В табл. 2.1 знак «минус» для энтальпии означает, что нужно затратить энергию для образования атомов, молекул или радикалов, а положительное значение энтальпии означает выделение энергии при реакции образования продукта.

Пример.

Рассчитаем теплоту реакции образования воды:



По данным табл. 2.1, теплота образования исходных соединений H_2 и O_2 равны нулю, а теплота образования молекулы воды равна +241,8 кДж/моль. Поскольку образовались 2 молекулы воды, то теплота реакции в стандартных условиях равна $\Delta H = 2 \cdot 241,8 = +483,7$ кДж/моль.

Запишем в соответствии с данными табл. 2.1 энергетический баланс реакции окисления углерода (графита):



Суммарная реакция:

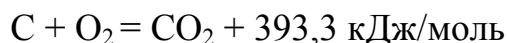


Таблица 2.1

Теплоты образования некоторых соединений из атомов в стандартных условиях [$p = 1 \text{ атм. } (1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}); t = 25 \text{ }^\circ\text{C } (298 \text{ К})$] ($4,184 \text{ Дж} = 1 \text{ кал}$)

Вещество	$-\Delta H$, кДж/моль	Вещество	$-\Delta H$, кДж/моль
Атом кислорода O	248,9	Углерод C	
Молекула кислорода O_2	0	графит	0
Озон O_3	142,3	алмаз	1,7
Атом водорода H	218,0	C (газ) теплота испарения	715,5
Молекула водорода H_2	0	C_2 (газ)	828,4
Вода		Оксид углерода CO	-110,5
H_2O (газ)	-241,8	Углекислый газ CO_2	-393,3
H_2O (жидкость)	-285,8	НСО (газ)	-22,2
Радикал $HO_2 \cdot$ (газ)	16,3	СН	594,1
Перекись водорода H_2O_2	-187,0	CH_2	275,3
Гидроксил OH	38,9	Метан CH_4	-74,9

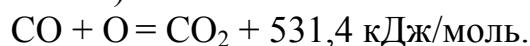
Таблица 2.2

Энергия разрыва связей

Реакция	Энергия связи, кДж/моль	Реакция	Энергия связи, кДж/моль
$H_2 \rightarrow 2H$	432,2	$C_2 \rightarrow 2C$	605,0
$HO \rightarrow H + O$	460,2	$CH \rightarrow C + H$	338,9
$H_2O \rightarrow OH + O$	489,7	$CH_4 \rightarrow CH_3 + H$	435,1
$O_2 \rightarrow 2O$	493,7	$CO \rightarrow C + O$	1076,1
$O_3 \rightarrow O_2 + O$	107,1	$CO_2 \rightarrow CO + O$	532,2

Таким образом, в суммарной реакции окисления углерода выделяется 393,3 кДж/моль.

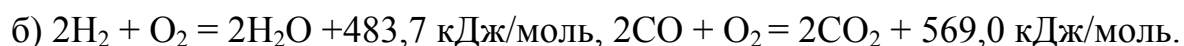
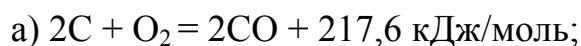
Молекула CO очень стабильна. Энергия связи C–O составляет 1076,1 кДж/моль (табл. 2.2). В молекуле CO_2 связь второго атома кислорода с углеродом намного слабее (см. табл. 2.1):



Энергия связи атомов углерода в кристаллической решетке графита также велика (605,0 кДж/моль, табл. 2.2). Энергию, выделяющуюся в результате реакции $C + 1/2O_2 = CO$, равную 108,9 кДж/моль, можно вычислить следующим образом: из энергии связи CO (1078,1 кДж/моль, см. табл. 2.2) нужно вычесть половину энергии разрыва связи O–O ($493,7,0 : 2 = 246,9$ кДж/моль) и теплоту испарения атома углерода (715,5 кДж/моль, см. табл. 2.1).

Превращение твердого углерода и газообразного водорода в углеводороды (например, метан) происходит с малым изменением энергии (см. табл. 2.1). С другой стороны при введении кислорода в органические молекулы типа спиртов, альдегидов выделяется почти столько же энергии, сколько выделяется при полном их сгорании до CO_2 и H_2O . Показано, что при сгорании любого органического природного топлива (древесина, торф) выделяется в среднем 418,4 – 502,1 кДж на 1 моль затраченного кислорода.

Неполное сгорание энергетически невыгодно. Чтобы убедиться в этом, сравним выделяющуюся энергию реакций при неполном сгорании (а) и полном сгорании (б):



Высокая энергия связей C–C в твердом углероде не позволяет испаряться его атомам при горении. Он покидает твердую фазу только в виде окислов CO и CO_2 . Реакция образования углерода из оксида углерода имеет высокий энергетический барьер: $2CO + O_2 = CO_2 + C - 539,7$ кДж/моль, т. е. требуются дополнительные затраты энергии в 539,7 кДж/моль. Поэтому сажа и копоть при горении природных топлив образуются только в результате разложения органического вещества, но не из оксида углерода (CO).

2.1.2. Химические процессы при горении

Химические процессы, протекающие при горении, чрезвычайно сложны. Даже для простейшего случая – горения водорода в кислороде установлено и изучено несколько десятков элементарных стадий. К настоящему времени подробно исследованы механизмы химических превращений при горении лишь для нескольких веществ: водорода, оксида углерода, метана и этана. Эти знания используют для прогнозирования условий воспламенения и горения других веществ.

Во всех процессах горения, независимо от их химической природы основную роль играют *критические явления и условия распространения зоны реакции*. Критические явления при возникновении горения – это резкое изменение режима протекания процесса при незначительном изменении внешних условий.

Цепное самовоспламенение. На примере реакции окисления водорода рассмотрим механизм цепной химической реакции и изменение физических ус-

ловий, которые могут вызывать воспламенение и взрыв веществ даже при нормальных условиях в отсутствии начальных высоких температур и давлений.

Подобные реакции идут через образование химически неустойчивых промежуточных частиц – *активных центров*. Активные центры – это части исходных молекул в виде атомов или свободных *радикалов* (R^\cdot). Свободные радикалы и некоторые атомы, в отличие от молекул, имеют свободные ненасыщенные валентности (непарный электрон), что способствует их взаимодействию с исходными молекулами. При столкновении свободного радикала (R^\cdot) с молекулой происходит разрыв одной из ковалентных связей в молекуле, что приводит к образованию нового свободного радикала, который, в свою очередь, реагирует с другой молекулой и т. д. Это приводит к *цепной реакции*.

Определения

Цепные реакции – это химические реакции, протекающие в результате появления активной частицы, которая вызывает цепь последовательных превращений неактивных молекул

Цепное самовоспламенение – это переход от медленного протекания цепной химической реакции к ее протеканию с нарастающей скоростью

Зарождение или *инициирование* цепи происходит под воздействием светового, радиационного, термического или другого воздействия.

Цепные реакции описывают тремя стадиями:

- ✓ *инициирование цепи* (I);
- ✓ *рост цепи* (II);
- ✓ *обрыв цепи* (III).

В ходе реакции количество активных центров может увеличиться в результате:

- ✓ теплового движения молекул, поскольку молекулы исходного вещества при ударе друг о друга могут диссоциировать;
- ✓ разветвления цепи, т. е. элементарного химического акта с участием одного активного атома или радикала, который может привести к образованию нескольких атомов или свободных радикалов.

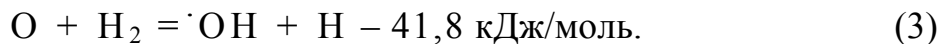
Разветвление цепи всегда происходит за счет энергии самой реакции. Так, например, с точки зрения материального баланса реакция $H + H_2 = 3H$ возможна, но она невыгодна энергетически. Другая реакция: $H + 3H_2 + O_2 = 3H + 2H_2O$, которая дает три активных центра, энергетически выгодна.

Суммарная реакция $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ представлена рядом элементарных реакций, в которых основную роль играют реакции с участием активных частиц: радикала OH^\cdot , атомов водорода H и кислорода O :

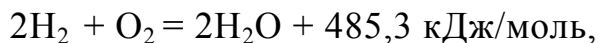
I зарождение цепи:



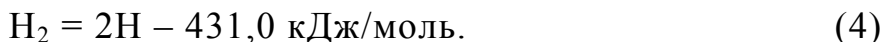
II рост цепи:



Из одного активного центра – атома Н образовалось три активных центра – произошло разветвление цепи. С энергетической точки зрения это означает, что тепло, выделяющееся в ходе основной реакции:



почти полностью идет на реакцию диссоциации молекулы водорода:



Механизм реакции водорода с кислородом подтвержден многочисленными экспериментальными данными, в том числе и прямым измерением концентраций активных центров Н, О, ОН \cdot .

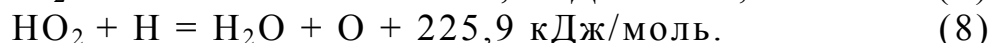
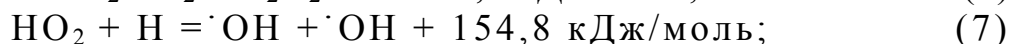
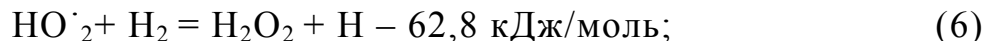
На начальной стадии реакции, когда концентрация атомов Н низка, тепла выделяется мало. Большое количество тепла начинает выделяться при концентрации Н близкой к максимальной, когда начинаются реакции *рекомбинации*. При повышении температуры, если реакция протекает в закрытом объеме, повышается давление и возникают другие условия – *критические*, которые меняют механизм гибели активных частиц. Протекают реакции, идущие через тройные столкновения:

III обрыв цепи:



Радикал HO $_2\cdot$ инертен в химическом отношении, и он гибнет на стенке сосуда. Поэтому данную реакцию рассматривают как реакцию обрыва цепи.

С увеличением температуры и давления частота тройных соударений начинает превышать частоту двойных соударений, приводящих к реакциям, и скорость гибели активных частиц увеличивается. Достигается *второй предел воспламенения*. Однако при очень высоком давлении радикалы HO $_2\cdot$ не успевают диффундировать к стенке и начинают вступать в реакции разветвления цепей:



В реакциях (7) и (8) выделяется большое количество тепла, которое в свою очередь приводит к увеличению скорости реакции, это вызывает еще больший разогрев реакционной смеси и увеличение давления. Если скорость выделения тепла превысит скорость охлаждения за счет теплоотдачи от стенок сосуда, то произойдет тепловой взрыв, который обуславливает наличие *третьего предела воспламенения*. Третий предел воспламенения заканчивается образованием водяного пара.

На рис. 2.1 представлены пути разветвления реакции окисления водорода.

Реакцию окисления водорода считают модельной реакцией при изучении реакций горения.

Механизм окисления углеводородов намного сложнее, чем окисление водорода. Данному вопросу посвящено огромное количество исследований, поскольку знание механизма таких реакций позволит управлять их ходом, что важно в теплотехнике, авиации, ракетной технике, а также предотвращать опасные последствия воспламенения углеводородов. Исследования ведут по двум направлениям: различными физико-химическими и физическими методами изучают механизм реакции и эмпирическим путем подбирают суммарные химические формулы, по которым можно было бы производить теоретические расчеты скоростей реакций, энергии др. На примере окисления самого простейшего углеводорода метана можно видеть, насколько сложен его механизм (рис. 2.2).

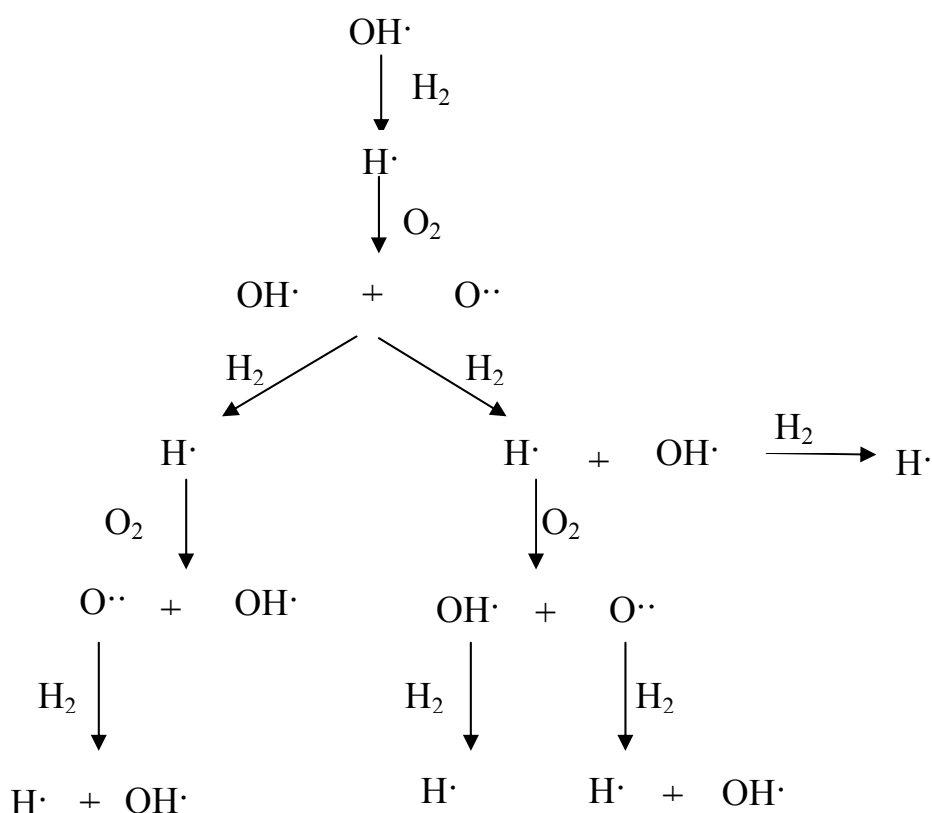


Рис. 2.1. Разветвление цепной реакции окисления водорода

1. $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{HO}_2$;
2. $\cdot\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{CH}_3\text{OO}\cdot$;
3. $\cdot\text{CH}_3\text{OO}\cdot \rightarrow \cdot\text{CH}_2\text{O} + \text{OH}\cdot$;
4. $\text{CH}_4 + \cdot\text{CH}_3\text{OO}\cdot \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \cdot\text{CH}_3\text{O}\cdot$;
5. $\text{CH}_4 + \text{OH}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \cdot\text{CH}_3$;
6. $\text{CH}_4 + \cdot\text{CH}_3\text{O}\cdot \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \cdot\text{CH}_3$;
7. $\text{CH}_4 + \cdot\text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \cdot\text{CH}_3$;

8. $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{HCO} + \cdot\text{HO}_2$;
9. $\text{CH}_2\text{O} + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \cdot\text{HCO}$;
10. $\cdot\text{HCO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \cdot\text{HO}_2$;
11. $\cdot\text{CH}_2\text{O} + \text{HO}_2 \cdot \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O} + \text{OH} \cdot$;
12. $\cdot\text{CH}_2\text{O} + \text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \cdot\text{HCO}$.

Рис. 2.2. Механизм окисления метана

Тепловое самовоспламенение. Различают два вида теплового воспламенения: *самовоспламенение* и *вынужденное воспламенение (зажигание)*.

В случае теплового воспламенения также различают два процесса: *самовозгорание* и *самовоспламенение*.

Определения

Самовозгорание – это самопроизвольное возникновение горения вследствие постепенного накопления теплоты при протекании экзотермических реакций в твердых горючих материалах, позволяющих возникнуть *самовоспламенению*

Самовоспламенение – это резкое самоускорение экзотермических химических реакций, начальная стадия горения

Тепловое самовоспламенение характерно для реакций с сильной зависимостью скорости реакции от температуры и значительным тепловым эффектом. Первые представления о причинах теплового самовоспламенения веществ в качественном виде даны Я. Вант-Гоффом (1883 г.). Теорию теплового самовоспламенения разработал Н. Н. Семенов (1928 г.). Согласно этой теории процесс самовоспламенения веществ можно представить следующим образом: при нагревании горючего вещества или материала можно достигнуть такой температуры, при которой начинает протекать медленная реакция окисления. Реакция сопровождается выделением теплоты и в какой-то момент достигается такое состояние, когда скорость прихода тепла в результате реакции станет выше скорости отвода тепла из реакционной зоны в окружающее пространство. *В этом случае реакционная зона разогреется до температуры выше той, до которой ее нагрели изначально.* С ростом температуры скорость реакции и скорость теплообразования увеличиваются, увеличивается также и скорость теплоотвода, однако медленнее, чем скорость реакции.

Температура, начиная с которой выделяющаяся теплота больше отводимой, называется *температурой самовоспламенения*. Температура самовоспламенения зависит от химического состава смеси и от условий теплоотдачи. Начиная с температуры самовоспламенения, происходит интенсивное саморазогревание реакционной зоны и самоускорение реакции, приводящее к тепловому самовоспламенению (появлению пламени) реагирующего вещества (или взрыву).

По теории Н. Н. Семенова, тепловое самовоспламенение при равномерном распределении температуры в реакционном объеме для реакции нулевого порядка с энергией активации E , предэкспоненциальным множителем k_0 и тепловым эффектом на единицу объема Q скорость тепловыделения описывается уравнением:

$$Q_+ = Qk_0 e^{-E/RT},$$

где R – универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль·К), T – температура.

В процессе самовоспламенения очень трудно дифференцировать влияние температуры от влияния активных частиц. Иногда в процессе развития реакции ведущая роль переходит от одного явления к другому: чаще от активных частиц к тепловыделению.

Определение

Температура самовоспламенения вещества (T^*) – это такое значение температуры, при котором скорости тепловыделения (Q_+) и теплоотвода (Q_-) становятся равными:

$$Q_+(T) = Q_-(T)$$

Температуру самовоспламенения можно определить с помощью диаграммы Семенова (рис. 2.3) по точке пересечения кривых тепловыделения реакции и теплоотвода.

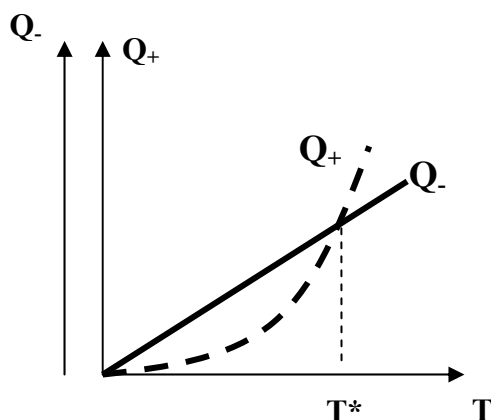


Рис. 2.3. Диаграмма Семенова

Температура самовоспламенения одного того же вещества зависит от внешних условий и может варьировать в широких пределах. T^* характеризует *степень пожароопасности* вещества или материала. Чем ниже T^* , тем выше пожароопасность. Температура самовоспламенения зависит от многих факторов:

- ✓ элементного состава соединения, смеси, материала;
- ✓ химического состава соединения, смеси, материала;
- ✓ физических свойств горючего материала (теплоемкость, теплопроводность);

- ✓ содержания в твердых горючих материалах летучих веществ;
- ✓ времени индукции;
- ✓ давления в сосуде;
- ✓ состава окислителя;
- ✓ материала стенок сосуда;
- ✓ начальной температуры стенок;
- ✓ метода определения температуры самовоспламенения.

Например, для *газов и жидкостей* при повышении давления T^* снижается; если в качестве окислителя выступает чистый кислород, а не воздух, то T^* резко снижается; увеличение объема, в котором происходит горение, приводит к повышению T^* за счет больших тепловых потерь; материал сосуда может выступить либо *катализатором*, либо *ингибитором* процесса окисления. Для газов и жидкостей из класса углеводородов, спиртов, альдегидов T^* находится в пределах $400 \div 700$ °С.

Для большинства *твердых материалов* температура самовоспламенения, ниже, чем у жидкостей и газов. Для твердых тел, способных плавиться и испаряться при нагревании (сера, фосфор, стеарин и др.) T^* зависит от тех же факторов, что и для жидкостей и газов. Однако многие твердые материалы при нагревании не плавятся, а разлагаются с выделением газообразных веществ. К подобным материалам относят древесину, торф, уголь, целлюлозу, сено, солому. Для этих материалов величина T^* тем ниже, чем больше они содержат летучих веществ. В табл. 2.3 приведены величины температур самовоспламенения некоторых материалов.

2.1.3. Тепловое самовозгорание

Тепловое самовозгорание может происходить в древесине, углях, торфе, промышленных отвалах лигнина, а также в элеваторах, нефтехранилищах и других емкостях при некоторых критических условиях.

По природе начального импульса, обуславливающего процесс, тепловые самовозгорания можно разделить на три типа:

- ✓ химические;
- ✓ микробиологические;
- ✓ тепловые.

Деление это условно, поскольку реальные процессы самовозгорания могут быть обусловлены всеми типами одновременно.

Химическое самовозгорание происходит, главным образом за счет увеличения скорости химической реакции с возрастанием температуры. Недостаточный теплоотвод способствует нагреву материала в результате окислительных процессов и соответственно достижению критических условий возникновения горения.

Таблица 2.3

Зависимость температуры воспламенения твердых материалов от их элементного состава и содержания летучих соединений

Материал	Элементный состав, % масс.				Летучие фракции, % масс.	Т*, °С
	С	Н	О	N		
Древесина	50,8	6,2	42,0	1,0	86,0	250÷350
Торф	58,9	6,0	33,1	2,0	70,0	225÷280
Бурый уголь	71,7	5,4	21,6	1,3	46,7	250÷450
Каменный уголь	81,1	5,7	11,4	1,8	45,5	400÷500
Древесный уголь	91,0	2,0	7,0	–	11,0	350
Кокс	97,4	0,7	0,5	1,4	4,0	700

Самовозгорающиеся химические вещества подразделяются на три основные группы:

✓ вещества, самовозгорающиеся при взаимодействии с кислородом воздуха: щелочные металлы (литий, калий, натрий, рубидий, цезий), сульфиды щелочных и щелочноземельных металлов (кальция CaS , калия K_2S), белый и красный фосфор; органические вещества синтетического и природного происхождения, содержащие в своей структуре двойные связи (олифы, растительные масла и жиры);

✓ вещества, самовозгорающиеся при взаимодействии с водой: щелочные металлы, карбиды щелочных металлов (наиболее распространенный карбид кальция: $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{CaO}$), сернистый натрий Na_2S , и другие вещества. Воспламеняются образующиеся в результате экзотермических реакций газы – H_2 , C_2H_2 , C_3H_8 и др.;

✓ вещества, самовозгорающиеся при взаимодействии друг с другом: неорганического происхождения окислители и органические вещества. Окислители: галогены (F, Cl, Br, J) и их соединения, азотная кислота HNO_3 , хлорная кислота HClO_4 , серная кислота H_2SO_4 .

Например, технические сульфатные лигнины, находящиеся в отвалах целлюлозно-бумажных производств, содержат большое количество серной кислоты. Экзотермические реакции окисления лигнинов и остатков целлюлозы приводят к самовозгоранию лигнинов.

Микробиологическое самовозгорание происходит при соответствующей влажности и температуре в продуктах растительного происхождения. Особенно склонны к самовозгоранию недосушенные материалы (древесина в штабелях, опилки, листья, сено, хлопок и т. п.), так как влага и тепло способствуют активному размножению микроорганизмов (уже при температуре 10–18 °С). К саморазогреву приводит и низкая теплопроводность растительных продуктов. При $t > 75$ °С микроорганизмы погибают, но некоторые органические вещества обугливаются, при этом пористый уголь адсорбирует пары и газы и процесс самовозгорания может продолжиться.

Тепловое самовозгорание присуще дисперсным веществам, обладающим сильно развитой поверхностью, способным адсорбировать кислород и вступать с ним в реакцию (ископаемые угли). Особенно опасны в этом отношении мелкодисперсные фракции углей, а также наличие примесей соединений железа и влаги. Температуру 60 °С считают критической для самовозгорания углей, так как при дальнейшем нагреве резко увеличивается скорость самовозгорания. Главнейшим фактором теплового самовозгорания является температура, до которой нагреваются вещества. Самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени, называется *самовоспламенением*.

2.1.4. Вынужденное воспламенение (зажигание)

Вынужденное воспламенение происходит в результате нагревания вещества от высокотемпературного источника тепла. При этом реакция может ускоряться как по тепловому, так и по цепному механизму. Локальный (местный) нагрев – основной признак процесса самоускорения химической реакции (воспламенения), который относится к зажиганию. Существуют различные источники зажигания:

- ✓ разряд молнии;
- ✓ накалившее тело;
- ✓ локальное пламя;
- ✓ электрическая искра (различные типы);
- ✓ трение;
- ✓ лазерное излучение;
- ✓ рециркуляция нагретых продуктов горения;
- ✓ самовоспламеняющиеся жидкости.

Тепловой механизм зажигания наиболее изучен. Различают три стадии этого процесса:

- ✓ в веществе создается прогретый слой и вначале процесса тепловыделение вследствие химических реакций незначительно;
- ✓ далее определяющее значение приобретает тепловыделение вследствие реакций, и происходит так называемый «срыв температуры», т. е. прогрессивный саморазогрев прогретого слоя; по моменту срыва температуры обычно фиксируют время задержки зажигания (t_3);
- ✓ вследствие интенсивного тепловыделения в процессе реакции прогреваются соседние слои вещества, и формируется волна горения.

Если тепловой поток от источника настолько интенсивен, что внешние слои вещества выжигаются, процесс затухает, и зажигания не происходит. Как и для самовоспламенения, важны процессы самоускорения реакции и преобладания Q_+ над Q_- . Однако одного факта преобладания Q_+ над Q_- недостаточно.

Критерием зажигания является не только появление пламени, но и распространение пламени. Поэтому теория вынужденного воспламенения (зажигания) значительно сложнее теории самовоспламенения

2.1.5. Понятие о кинетическом и диффузионном горении

Процесс горения зависит от множества условий, главнейшим из которых являются:

- ✓ состав горючей смеси;
- ✓ давление в зоне горения;
- ✓ температура реакции;
- ✓ геометрические размеры системы;
- ✓ агрегатное состояние горючего и окислителя.

В зависимости от *агрегатного состояния* горючего и окислителя различают следующие типы горения:

- ✓ гомогенное;
- ✓ гетерогенное;

Гомогенное горение происходит в *однородных смесях горючего* и окислителя. Однородными являются смеси, в которых горючее вещество и воздух равномерно перемешаны друг с другом (смеси горючих газов, паров с воздухом).

Гетерогенное горение происходит в *неоднородных смесях*. Неоднородными названы смеси, в которых горючее вещество и воздух не перемешаны друг с другом и имеют поверхности раздела фаз (это твердые горючие материалы и нераспыленные жидкости).

Полное время сгорания в общем случае определяется по формуле

$$\tau_p = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}},$$

где $\tau_{\text{физ}}$ – время физической стадии процесса (диффузии O_2 к очагу возгорания); $\tau_{\text{хим}}$ – время протекания химической стадии (реакции).

При горении однородных систем (смеси паров, газов с воздухом) время физической стадии процесса несоизмеримо меньше скорости протекания химической реакции и $\tau_p \approx \tau_{\text{хим}}$, поэтому скорость определяется скоростью химической реакции и $\tau_p = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}}$, такое горение называют *кинетическим*.

При горении химически неоднородных систем время проникновения (диффузия – перенос массы) O_2 к горючему веществу сквозь продукты сгорания несоизмеримо больше времени протекания химической реакции и таким образом определяет общую скорость процесса, т. е. $\tau_p \approx \tau_{\text{физ}}$. Такое горение называют *диффузионным*.

Примерами диффузионного горения (рис. 3.1) является горение древесины, торфа, лесной подстилки, каменного угля (продукты горения препятствуют диффузии кислорода в зону горения).

Концентрация кислорода в объеме воздуха значительно больше его концентрации вблизи зоны горения. Химическая реакция определяется скоростью диффузии O_2 , при отсутствии достаточного количества в зоне горения тормозится.



Рис. 2.4. Диффузия кислорода в зону горения твердого вещества (гетерогенное горение)

Если продолжительность химической реакции и физической стадии процесса соизмеримы, то горение протекает в промежуточной области (на скорость горения влияют как физические, так и химические факторы).

В курсе «Лесная пирология» нас будет интересовать в основном диффузионное горение. Это самый сложный в теоретическом плане тип горения. Рассмотрим, каким образом распространяется пламя при горении веществ и материалов в воздушной среде. Известно, что в воздухе содержится около 21 % кислорода. Горение большинства веществ становится невозможным при содержании кислорода в воздухе ниже 14–18 %, и только некоторые горючие вещества (водород, этилен, ацетилен и др.) могут гореть при снижении содержания кислорода в воздухе до 10 % и менее. При дальнейшем уменьшении содержания кислорода горение большинства веществ прекращается.

Различают два механизма распространения пламени:

- ✓ *тепловой* (рис. 2.5);
- ✓ *цепной* (рис. 2.6).

В основе теплового механизма лежит явление *теплопроводности*. В основе цепного механизма лежит *диффузия активных центров*.

В реальности при горении веществ и материалов действуют оба механизма, но на различных стадиях горения один из механизмов может преобладать.

В зависимости от агрегатного состояния горючего вещества различают горение газов, жидкостей, пылевидных и компактных твердых веществ.

✓ Газы – это вещества, критическая температура которых менее 50 °С. $T_{кр}$ – это минимальная температура нагрева 1 моля вещества в закрытом сосуде, при котором оно полностью превращается в пар.

✓ Жидкости – это вещества с температурой плавления (каплепадения) менее 50 °С.

✓ Твердые вещества – это вещества с температурой плавления (каплепадения) более 50 °С.



Рис. 2.5. Тепловой механизм распространения пламени

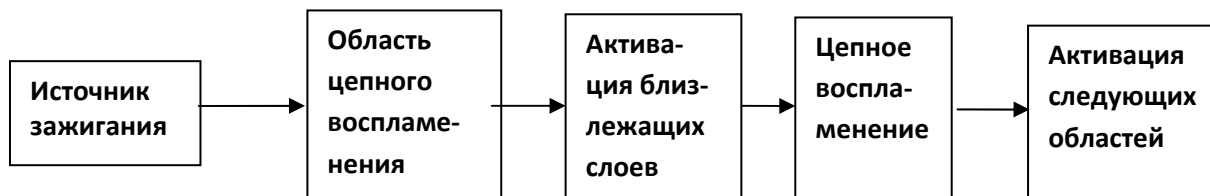


Рис. 2.6. Цепной механизм распространения пламени

2.2. Физико-химические процессы распространения пламени и прекращения горения

Распространение пламени происходит за счет передачи теплоты от слоя к слою. Теплота передается в результате следующих физических процессов:

- ✓ теплопроводности (перенос тепловой энергии);
- ✓ излучения;
- ✓ диффузии (перенос массы горючих компонентов).

Определение

Фронт пламени – зона, в которой происходит химическая реакция окисления, т. е. горение

Время пребывания веществ в фронте пламени колеблется в пределах $10^{-3} \div 10^{-7}$ с.

Теплота химической реакции, которая протекает в фронте пламени, распространяется радиально, поэтому прогреваются все расположенные рядом слои горючего вещества и воздуха. Распределение температур в зоне возгорания приведено на рис. 2.7.

Исходная смесь имеет температуру T_0 , ближе к фронту пламени температура становится выше и, достигая температуры самовоспламенения T^* , резко повышается в зоне реакции, до *температуры горения* T_r . Ширина зоны прогрева зависит от теплопроводности горючей смеси и скорости распространения пламени. Увеличение теплопроводности расширяет зону прогрева, увеличение скорости реакций – сужает.

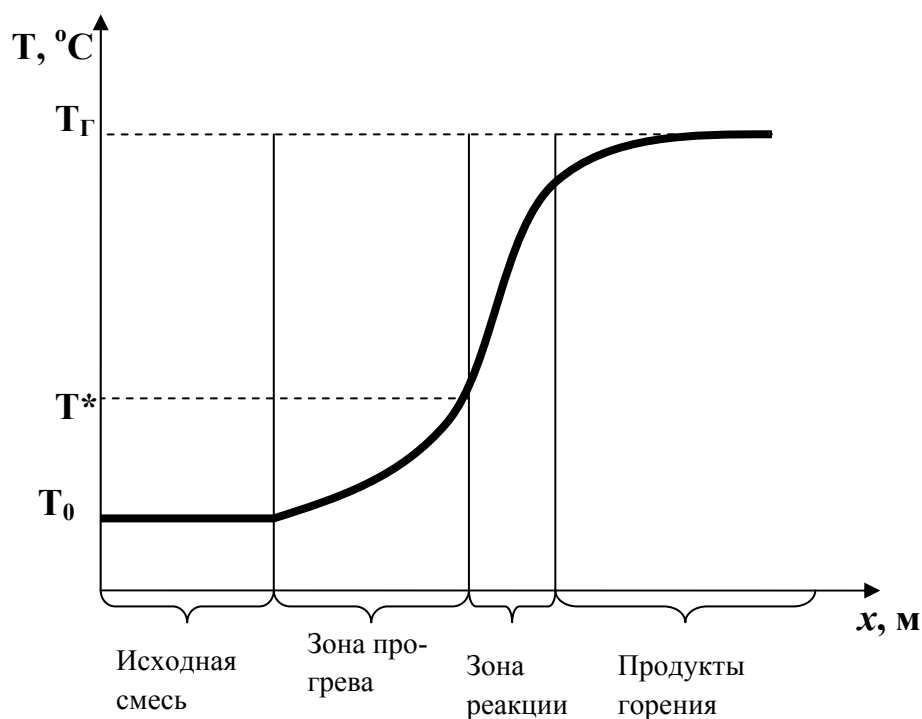


Рис. 2.7. Распределение температур по зонам: температура зоны прогрева, температура зоны реакции (фронт пламени), температура продуктов горения

В зоне реакции кроме процесса теплопроводности протекают процессы диффузии. Диффузия вызвана различием парциальных давлений отдельных компонентов смеси в зоне реакции и в исходной смеси из-за сгорания компонентов горючей смеси. Это приводит к диффузии горючих компонентов и кислорода в зону горения.

Горение газов (гомогенное горение). В этом случае наблюдаются 3 зоны пламени (рис. 2.8):

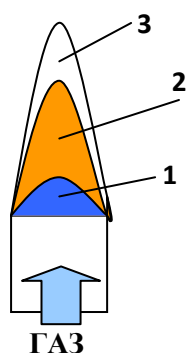


Рис. 2.8. Горение газа (гомогенное горение):

1 – прозрачный конус – исходный газ нагревается до температуры самовоспламенения; 2 – светящаяся зона фронта пламени – здесь происходят химические реакции окисления; 3 – продукты сгорания: CO , CO_2 , H_2O (бывают почти невидимы при полном сгорании газов и, особенно при горении водорода, когда не образуется сажа).

Горение жидкости. При горении в открытом сосуде имеются 4 зоны распространения пламени (рис. 2.9). Ширина фронта пламени в этом случае больше, т. е. реакция протекает медленнее.

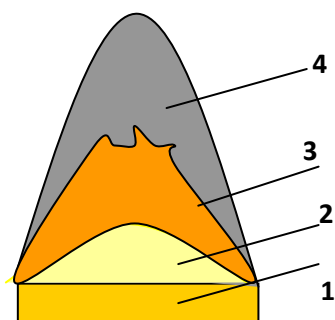


Рис. 2.9. Горение жидкости в открытом сосуде:

1 – жидкость; 2 – газы или пары жидкости; горение в этой зоне не происходит; температура не превышает 500 °С, здесь происходит *пиролиз* летучих веществ и нагрев до температуры самовоспламенения; 3 – фронт пламени; 4 – продукты сгорания: CO , CO_2 , H_2O и C (дым).

Определение

Пиролиз – разнообразные деструктивные процессы превращения химических веществ под воздействием высоких температур без доступа кислорода воздуха, слово «пиролиз» происходит от греч. *pyr* – огонь и *lysis* – разложение, распад

Горение плавящихся твердых веществ. Этот вид горения рассмотрим на примере горения свечи. В материал свечи входят стеарин или парафины. В данном случае наблюдается 6 зон (рис. 2.10). Фитиль служит стабилизатором горения. Он впитывает жидкость, поднимает ее, после этого жидкость испаряется и горит.

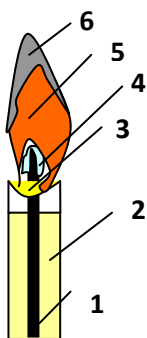


Рис. 2.10. Горение свечи:

1 – фитиль; 2 – твердый углеводород; 3 – расплавленный (жидкий) углеводород; 4 – темный прозрачный слой паров углеводорода; здесь происходит пиролиз летучих веществ и нагрев до температуры самовоспламенения; 5 – фронт пламени; 6 – продукты сгорания: CO , CO_2 , H_2O и C (дым)

Горение неплавящихся твердых веществ. Данный вид горения рассмотрим на примере горения спички (рис. 2.11). Модель горения твердого вещества предполагает наличие следующих стадий:

1 – прогрева твердой фазы; толщина зоны зависит от температуры и теплопроводности вещества;

2 – пиролиза, или реакционной зоны в твердой фазе, в которой образуются газообразные горючие вещества;

3 – предпламенной фазы в газовой фазе, в которой образуется смесь с окислителем;

4 – пламени, или реакционной зоны в газовой фазе, в которой происходит превращение продуктов пиролиза в газообразные продукты горения;

5 – образования продуктов горения.

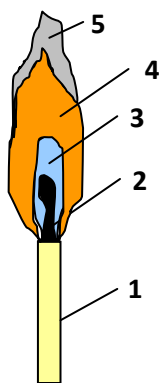


Рис. 2.11. Горение древесины

1 – свежая древесина; 2 – обугленная древесина;
3 – газы (газифицированные или испарившиеся летучие вещества) – это темноватая прозрачная зона;
4 – фронт пламени; 5 – продукты сгорания (дым)

Из рис. 2.11 видно, что обгоревший участок древесины намного тоньше и имеет черный цвет. Это значит, что часть древесины обуглилась, т. е. осталась только нелетучая часть, а летучая часть испарилась и сгорела. Скорость горения угля значительно медленнее, чем газов, поэтому он не успевает полностью выгореть. Многие твердые горючие вещества – древесина, солома, торф – содержат в своем составе атомы кислорода (табл. 2.1). Для сгорания подобных материалов требуется гораздо меньше кислорода воздуха. Последний тип горения относят к диффузионному горению. Пламя, т. е. зона горения смеси горючего с воздухом, для обеспечения устойчивости должна постоянно снабжаться кислородом воздуха. Поступление горючего газа зависит только от скорости его диффузии в зону горения.

2.2.1. Материальный и тепловой баланс процессов горения

Для оценки вероятности возникновения пожара и его последствий необходимо уметь рассчитывать материальный баланс процессов горения различных горючих веществ. Горение различных материалов при пожаре происходит почти всегда в среде воздуха. Только в специально приготовленных смесях – ракетное топливо, взрывчатое вещество или при газовой сварке металлов горение происходит за счет кислорода, выделяемого окислителем, или за счет газообразного кислорода.

В курсе «Лесная пирология» нас будут интересовать методы расчета материального и теплового баланса при горении веществ только в среде воздуха. Расчет материального и теплового балансов сводится к решению следующих задач:

- ✓ определение количества воздуха, необходимого для горения;
- ✓ определение количества и состава продуктов сгорания;
- ✓ определение теплоты горения;
- ✓ определение теоретической температуры горения.

Определение количества воздуха, необходимого для горения. В состав атмосферного воздуха кроме основных компонентов – кислорода O_2 и азота N_2 , входят инертные газы (аргон, неон, гелий, криптон, ксенон), а также озон O_3 , углекислый газ CO_2 , пары воды H_2O и частицы аэрозолей (пыль). Азот – не го-

рючий газ. Объем остальных компонентов в сухом очищенном воздухе не превышает 1 %. Поскольку нам важен сам принцип расчета, мы не будем учитывать наличие инертных газов, воды и пыли в воздухе. Примем, что воздух состоит из двух компонентов – кислорода и азота. Характеристики этих газов при нормальных условиях (н. у.) ($T = 373,15 \text{ К}$, $p = 1,013 \text{ Па}$ или $t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $p = 760 \text{ мм рт. ст.}$) приведены в табл. 2.4. Молярный объем (M_n) каждого газа при н. у. будем считать неизменным и равным $22,4 \text{ м}^3$.

Таблица 2.4

Характеристики воздуха при н. у.

Газ	Состав		М, а.е.м.	ρ , кг/м ³	R, Дж/кг·К
	масс., %	об., %			
Азот, N ₂	100	100	28,01	1,251	296,65
Кислород, O ₂	100	100	32,00	1,429	259,70
Воздух N ₂ /O ₂	23/77	21/78	28,96	1,293	281,53

При расчете материального баланса процессов горения необходимо записать уравнение реакций окисления для элементов, входящих в горючее вещество или материал.

Количество каждого атома в левой и правой частях уравнения должно быть одинаково. Балансы элементарных реакций позволяют рассчитать массовые расходы кислорода, необходимого для окисления, а, следовательно, и воздуха, а также количество продуктов реакции окисления (продуктов сгорания).

Метод расчета зависит от вида горючего материала. Если это индивидуальное соединение, то для расчета необходимо знать его молярную массу (M), выраженную в кг/кмоль (табл. 2.5); если это смесь известных веществ, то нужно знать концентрацию каждого из участвующих в горении соединений; если горючее вещество многокомпонентное с неопределенным составом, то необходимо знать его элементный состав.

Таблица 2.5

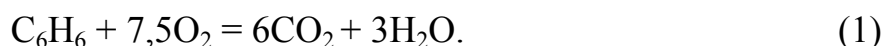
Молярные массы наиболее важных в отношении процессов горения соединений

Атом, молекула	O	O ₂	C	H	H ₂	S
М (кг/кмоль)	16	32	12	1	2	32

Пример.

Горение бензола при $t = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $p = 750 \text{ мм рт. ст.}$ (н. у. $T = 273 \text{ К}$, $p = 760 \text{ мм рт. ст.}$)

1. Запишем реакцию окисления бензола:



2. В уравнение подставим значения молярной массы M (а.е.м.) входящих в него атомов или молекул:

$$6 \cdot (12 + 1) + (32 \cdot 7,5) = 6(12 \cdot 1 + 16 \cdot 2) + 3(1 \cdot 2 + 16 \cdot 1). \quad (2)$$

3. Подсчитаем и перепишем уравнение (2) в другом виде:

$$78 \text{ кг} + 240 \text{ кг} = 264 \text{ кг} + 54 \text{ кг}.$$

Следовательно, для сжигания 78 кг бензола потребуется 240 кг кислорода, при этом образуется 264 кг CO_2 и 54 кг H_2O .

4. Определим массу кислорода m_{O} , необходимую для сжигания 1 кг бензола:

$$m_{\text{O}} = \frac{240}{78} = 3,08 \text{ кг}.$$

5. По плотности кислорода при н. у. (табл. 2.4) определим объем кислорода V_{O} , необходимый для полного сгорания 1 кг бензола:

$$V_{\text{O}} = \frac{m_{\text{O}}}{\rho} = \frac{3,08}{1,429} = 2,155 \text{ м}^3.$$

6. Поскольку горение происходит в среде воздуха, произведем расчет необходимого для горения объема воздуха V_{B} , с учетом того, что объемное содержание кислорода в воздухе – 21 %:

$$V_{\text{B}} = V_{\text{O}} \cdot 4,762 = 2,155 \cdot 4,762 = 10,262 \text{ м}^3.$$

7. Проведем расчет объема воздуха при заданных условиях: $t = +20^\circ\text{C}$ (293 К) и $p = 750$ мм рт. ст.

$$V_{\text{B}} = \frac{V_{\text{Mn}} p_{\text{n}}}{T_{\text{n}}} \cdot \frac{p}{T} = \frac{10,262 \cdot 760}{273} \cdot \frac{293}{750} = 11,16 \text{ м}^3,$$

где V_{Mn} , p_{n} , T_{n} – объем воздуха, давление, температуры при н. у. соответственно.

Определение количества и состава продуктов сгорания. Количество и состав горючих веществ определяют важнейшие характеристики процесса горения – *теплоты горения* и *температуры горения*. Продукты сгорания обычно находятся в газообразном состоянии, поэтому их количество выражают либо в объемных %, либо в $\text{м}^3/\text{кг}$ горючего вещества. Порядок расчета количества продуктов сгорания, как и в случае расчета необходимого количества окислителя, определяется типом (составом) горючего вещества. Если горит природное многокомпонентное сырье органического происхождения (древесина, торф, солома, уголь и др.), то по известному элементному составу можно определить количество газообразных продуктов сгорания 1 кг горючего материала с помощью уравнений реакций горения основных, подверженных реакциям окисления атомов – водорода, углерода, серы.

В горючих веществах природного происхождения содержатся также азот (N_2), влага (W), и зола (A), которые не участвуют в процессе горения, но переходят в газообразное состояние и смешиваются с продуктами сгорания. При н. у. $V_{\text{N}} = 1/\rho = 0,799 \text{ м}^3$. 1 кг паров воды имеет объем $0,254 \text{ м}^3$.

В табл. 2.6 приведены состав и объем газообразных продуктов, образующихся при полном сгорании 1 кг вещества.

Таблица 2.6

Объем газообразных продуктов, образующихся при полном сгорании веществ (V^*)

Окисляющийся компонент	Объем газов (V , m^3)			
	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
C	1,85			
H ₂		11,20	0,70	
S				
N ₂				0,80
H ₂ O		1,24		

Объем газообразных продуктов, приведенный в табл. 2.6, рассчитан по следующему методу:

- ✓ записывают уравнение: $C + O_2 = CO_2$;
- ✓ в это уравнение подставляют молярные массы (в кг): $12 \text{ кг} + 32 \text{ кг} = 44 \text{ кг}$;
- ✓ определяют массы и объем CO₂ при сгорании 1 кг углерода:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{12} = 3,67 \text{ кг}; \quad V_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} = \frac{3,67}{1,997} = 1,85 \text{ м}^3$$

Аналогично рассчитывают и остальные объемы газообразных продуктов.

Пример. Сгорание древесины. Древесина состоит из органических веществ, в состав которых входит углерод (49,5 %), кислород (44,1 %), водород (6,3 %) и азот (0,1 %). Кроме органических веществ, древесина содержит минеральные соединения, которые при сгорании дают 0,2–1,7 % золы (А) и воду (W) (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Элементный состав угля в масс. % и в долях (q)

C	H	O	N	W	A
47,5 / 0,475	6,0 / 0,060	43,0 / 0,030	0,1 / 0,001	3,2 / 0,032	0,2 / 0,002

Используя данные табл. 2.6 и 2.7, определим объем газообразных продуктов полного сгорания 1 кг древесины:

$$V_{CO_2} = q_C \cdot V_{CO_2}^* = 0,475 \cdot 1,85 = 0,879 \text{ м}^3$$

$$V_{H_2O} = q_H \cdot V_{H_2O}^* + q_O \cdot V_{H_2O}^* = 6,0 \cdot 11,2 + 0,430 \cdot 1,24 = 67,73 \text{ м}^3$$

$$V_{N_2} = q_N \cdot V_{N_2}^* = 0,01 \cdot 0,8 = 0,01 \text{ м}^3$$

Таким образом, при полном сгорании 1 кг древесины выделяется 68,62 м³ газообразных продуктов. Полученные объемы газов можно представить в кг, используя формулу

$$m = \rho_x \cdot V_x,$$

где ρ_x , V_x – плотность газа и объем газа соответственно.

2.2.2. Определение теплоты сгорания. Теплотворная способность. Теоретическая температура горения

Определения

Теплота сгорания – это количество выделившейся теплоты при полном сгорании массовой (для твердых и жидких веществ) или объемной (для газообразных) единицы вещества (Дж, кал)

Удельная теплота сгорания – теплота сгорания, отнесенная к единице массы или объема сгоревшего вещества (Дж или кал на 1 кг/м³ или моль)

Для измерения удельной теплоты сгорания пользуют метод калориметрии. Теплота сгорания определяется химическим составом горючего вещества.

Содержащиеся в горючем веществе химические элементы обозначаются принятыми символами C , H , O , N , S , а зола и вода – символами A и W соответственно.

Теплота сгорания может быть отнесена к рабочей массе горючего вещества Q^P ; к сухой массе вещества Q^C ; к горючей массе вещества Q^I , т. е. к горючему веществу, не содержащему влаги и золы.

Различают *высшую* (Q_B) и *низшую* (Q_H) теплоту сгорания.

Определения

Высшая теплота сгорания – это количество теплоты, выделившейся при полном сгорании единицы массы или объема (для газа) горючего вещества и охлаждении продуктов сгорания до температуры точки росы

Низшая теплота сгорания – это количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учета теплоты конденсации водяного пара

Скрытая теплота сгорания – это теплота, которая выделяется при конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания

Низшая и высшая теплоты сгорания связаны соотношением:

$$Q_B = Q_H + k(W + 9H),$$

где k – коэффициент, равный 25 кДж/кг (6 ккал/кг); W – количество воды в горючем веществе, % (масс.); H – количество водорода в горючем веществе, % (масс.).

В теплотехнических расчетах высшая теплота сгорания принимается как 100 %. Скрытая теплота сгорания теоретически может достигать 11 %. Параметр «низшая теплота сгорания» (Q_H^P), был введен по той причине, что на практике, не удастся охладить продукты сгорания до полной конденсации. Поэтому Q_H^P получают, вычитая из высшей теплоты сгорания теплоту парообразования водяных паров как содержащихся в веществе, так и образовавшихся при его сжигании. *На парообразование 1 кг водяных паров расходуется 2514 кДж/кг (600 ккал/кг).*

Низшую теплоту сгорания определяют по формулам (кДж/кг или ккал/кг):

$$Q_H^P = Q_B^P - 2514 \left[\frac{(9H^P + W^P)}{100} \right]$$

$$Q_H^P = Q_B^P - 600 \left[\frac{(9H^P + W^P)}{100} \right],$$

где 2514 кДж/кг (600 ккал/кг) – теплота образования пара при температуре 0 °С и атмосферном давлении; H^P и W^P – содержание водорода и водяных паров в топливе, % масс.; 9 – коэффициент, показывающий, что при сгорании 1 кг водорода образуется 9 кг воды.

Теплота сгорания является наиболее важной характеристикой горючего материала, так как определяет количество тепла, получаемого при сжигании 1 кг твердого или жидкого вещества или 1 м³ газа в кДж/кг (ккал/кг).

Низшую теплоту сгорания определяют экспериментально для каждого вещества или материала, эту величину можно найти в специальных справочниках. Кроме этого для твердых и жидких веществ ее можно определить и теоретически, в соответствии с формулой Д. И. Менделеева, в кДж/кг или ккал/кг, если известен элементный состав:

$$Q_H^P = 339C^P + 1256H^P - 109(O^P - S^P) - 25,14(9H^P - W^P) \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right].$$

Или

$$Q_H^P = 81C^P + 246H^P - 26(O^P - S^P) - 6(W^P) \left[\frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \right],$$

где C^P , H^P , O^P , S^P , W^P – содержание атомов углерода, водорода, кислорода, летучей серы и воды, выраженное в % масс.

Для сравнительных расчетов используют так называемое «Топливо условное», имеющее удельную теплоту сгорания, равную 29 308 кДж/кг (7000 ккал/кг).

В России тепловые расчеты (например, расчет тепловой нагрузки для определения степени взрывопожарной и пожарной опасности) обычно производят

по низшей теплоте сгорания. В США, Великобритании, Франции – по высшей теплоте сгорания.

Теплотворная способность некоторых горючих материалов природного происхождения приведена в табл. 2.8.

Определение теоретической температуры горения. Температура горения (T_{Γ}) для одного и того же вещества или материала не является величиной постоянной. Она зависит от многих факторов: от горения в замкнутом объеме или на открытом воздухе, от условий теплоотдачи, от полноты сгорания и др. Учитывая такую специфику, расчет T_{Γ} обычно производят для стандартных условий:

- ✓ горючее вещество и воздух вступают в реакцию при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- ✓ количество воздуха равно теоретически необходимому для полного сгорания;
- ✓ вся выделенная теплота Q передается продуктам горения.

Таблица 2.8

Низшая теплота сгорания горючих материалов

Горючие материалы	Низшая теплота сгорания, Q_H , МДж/кг
Хвоя сосны	21,79
Древесина ели	20,53
Хвоя ели	21,07
Древесина березы	20,00
Древесина сосны	20,62
Кора сосны	20,17
Бумага: книги, журналы	13,4
Древесина (бруски $W = 14\%$)	13,8
Хлопок разрыхленный	15,7

Рассчитанную для этих условий температуру называют *теоретической температурой горения* (T_{Γ}). Температура горения в реальных условиях ($T_{\Gamma P}$) всегда ниже теоретической температуры горения, и разность этих температур может достигать $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более (табл. 2.9). Это объясняется тем, что реальный процесс горения (пожар) происходит с избытком кислорода (коэффициент α) и в условиях неполного сгорания, к тому же теплота горения Q расходуется не только на реакцию горения, но и на нагрев окружающей среды.

Таблица 2.9

Теплота горения (Q) и температуры горения древесины теоретическая (T_{Γ}) и практическая ($T_{\Gamma P}$)

Древесина	Q , МДж/кг	T_{Γ} , $^{\circ}\text{C}$	$T_{\Gamma P}$, $^{\circ}\text{C}$
Береза	13,25	1575	1069
Ель	13,45	1590	1080
Сосна	13,84	1605	1090

При сжигании 1 кг абсолютно сухой древесины любой породы из-за близости химического состава выделяется примерно одинаковое количество (19,6–21,4 МДж) теплоты. Теплота горения коры у большинства пород такая же, как у древесины. Однако для наружной части коры березы этот показатель равен 35 МДж/кг.

Если расчет производить на объем сгоревшей древесины, то теплота горения 1 м³ древесины зависит от породы и она тем больше, чем выше плотность древесины, например, для березы – 11,7·10³, сосны – 8,9·10³, осины – 7,4·10³ МДж/м³. С повышением влажности древесины теплота сгорания снижается: у свежесрубленной древесины она в 2 раза меньше, чем у абсолютно сухой.

При расчете теоретической температуры горения T_{Γ} считают, что вся выделившаяся теплота Q , передается продуктам сгорания. Расчет T_{Γ} начинают с уравнения теплового баланса:

$$Q = V \cdot c_p (T_{\Gamma} - T_H),$$

где Q – теплотворная способность горючего вещества, Дж/кг; V – объем продуктов сгорания, при сгорании 1 кг, м³/кг; c_p – объемная удельная теплоемкость продуктов сгорания, Дж/(м³·град); T_{Γ} – теоретическая температура горения, °С; T_H – начальная температура воздуха, °С.

При н. у. ($T_H = 0$ °С) формула для расчета T_{Γ} :

$$T_{\Gamma} = \frac{Q}{\sum V c_p} \quad (3)$$

Пример. Определим T_{Γ} горения торфа, элементный состав которого приведен в табл. 2.10. Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,5$.

Таблица 2.10

Элементный состав торфа в масс. %, и в долях (q)

Содержание элементов (% масс. / доля)						
С	Н	О	S	N	W	A
55,1 / 0,551	5,5 / 0,055	35,5 / 0,355	0,7 / 0,007	1,2 / 0,012	3,0 / 0,03	2,5 / 0,025

Таблица 2.11

Объемная удельная теплоемкость продуктов сгорания

Газы	CO ₂ и SO ₂	H ₂ O	N ₂ и O ₂
c_p (МДж/м ³ ·град)	$2,13 \cdot 10^{-3}$	$2,03 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$

1. Определим количество газообразных продуктов сгорания на 1 кг торфа по методике, приведенной в разделе 2.2.1:

$$V_{CO_2, SO_2} = 1,46 \text{ м}^3/\text{кг}; V_{H_2O} = 0,53 \text{ м}^3/\text{кг}; V_{N, O} = 10,34 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

2. Рассчитаем теплотворную способность торфа по формуле Д. И. Менде-

леева. Подставим приведенные в табл. 2.12 данные в формулу Менделеева (азот N и зола A в эту формулу не входят, поскольку являются инертными веществами и не участвуют в реакции горения):

$$Q_H = 0,339 \cdot 55,1 + 1,025 \cdot 5,5 + 0,1085 \cdot 0,7 + 0,1085 \cdot 35,5 - 0,025 \cdot 3,0 = 28,18 \text{ МДж/кг.}$$

3. Рассчитаем теоретическую температуру горения торфа по формуле:

$$T_r = \frac{Q}{\sum V_{c_p}} = \frac{29,92}{1,46 \cdot 2,13 \cdot 10^{-3} + 0,53 \cdot 2,09 \cdot 10^{-3} + 10,34 \cdot 1,42 \cdot 10^{-3}} = 1583,0 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Следовательно, температура горения торфа при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,5$ (на открытом воздухе), т. е. в условиях постоянного давления составляет $\sim 1600 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2.2.3. Физические и химические принципы прекращения горения

Горение любого вещества можно прекратить, воздействуя физическим или химическим методом на реакцию горения, вследствие чего происходит уменьшение количества выделяющегося тепла, снижение температуры горения и, в конечном счете, прекращение реакции.

Различают четыре механизма прекращения горения:

- ✓ разбавление концентраций реагирующих веществ;
- ✓ изоляция реагирующих веществ;
- ✓ охлаждение реагирующих веществ;
- ✓ химическое торможение реакции горения.

Первые три механизма составляют основу физического, а четвертый – химического метода воздействия на реакцию горения. В практике тушения пожаров нередко используют разнообразные их комбинации.

Прекращение горения разбавлением концентрации реагирующих веществ. Сущность данного метода состоит в разбавлении воздуха или горючего вещества, поступающего в зону горения, негорючими веществами до тех пор, пока образующаяся в зоне реакции смесь станет негорючей. Применяемые для этой цели вещества должны иметь низкую теплопроводность, высокую теплоемкость и не поддерживать горения, при этом введение их в зону реакции возможно только в распыленном или газообразном состоянии. Такими веществами являются азот, двуокись углерода и водяной пар. Перечисленные вещества можно вводить непосредственно в факел пламени, а также в объем помещения, где происходит горение. Этот метод прекращения горения эффективен только в герметичных помещениях, и совершенно не подходит для открытых пространств.

Прекращение горения изоляцией реагирующих веществ. В этом случае горючее вещество или зону горения изолируют от воздуха. Если горючее вещество изолировано (например, слой горючей жидкости засыпан песком или накрыт кошмой), то поступление в зону горения кислорода, исключено вовсе или

ограничено, вследствие чего реакции горения прекращаются. Исключение составляют те случаи, когда кислород содержится в самом горючем веществе, в количествах, достаточных для горения (например, в хлопке, торфе). В качестве огнетушащих средств для тушения пожаров способом изоляции реагирующих веществ, используют:

- ✓ твердые листовые материалы: войлок, асбест, металлические крышки и пр.; негорючие сыпучие материалы (песок, тальк и др.);

- ✓ жидкие вещества (химическую и воздушно-механическую пену, воду в чистом виде и с добавками, повышающими ее вязкость и смачивающую способность);

- ✓ газообразные вещества (азот, двуокись углерода).

Тушение пожаров изоляцией зоны реакции применяют при горении веществ во всех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.

Прекращение горения охлаждением реагирующих веществ. Известно, что горение любого вещества возможно в том случае, если выделяемые им горючие пары или газы нагреты до температуры самовоспламенения T^* . Следовательно, охлаждая горящее вещество, можно достигнуть такого состояния, когда выделяющиеся пары будут не в состоянии воспламениться. Используя эту особенность, можно прекратить горение.

Средства, которые предполагается использовать для прекращения горения охлаждением реагирующих веществ, должны иметь большую теплоемкость, высокую величину удельной теплоты плавления и парообразования, иметь способность равномерно распределяться по поверхности горящего вещества и хорошо ее смачивать.

Наиболее распространенным веществом с такими свойствами является вода. Вода имеет высокую термическую стойкость. Ее пары разлагаются на кислород и водород при температуре свыше $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$, что может усложнить обстановку в зоне горения. Однако большинство горючих материалов горит при температуре, которая не превышает $1300\text{--}1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому тушение водой не опасно.

Попадая в зону горения, вода отнимает от горящих материалов и продуктов горения большое количество теплоты (Q). При этом она частично испаряется и превращается в пар, увеличиваясь в объеме в 1700 раз (из 1 л воды при испарении образуется 1700 л пара). В результате парообразования происходит разбавление концентрации реагирующих веществ, что само по себе способствует прекращению горения. Вода способна растворять некоторые пары, газы и поглощать аэрозоли. Следовательно, водой можно осаждать газообразные и летучие продукты горения.

Огнетушащая эффективность воды зависит от способа подачи ее в очаг пожара (сплошной или распыленной струей). При горении древесины, под воздействием тепла, выделяющегося в зоне реакции, на поверхности материала образуется слой угля, температура которого составляет $600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$, что значи-

тельно превышает температуру начала пиролиза древесины, составляющую ~ 200 °С.

При этом вода:

- ✓ охлаждает верхний наиболее нагретый слой угля и зону реакции, пролетая через нее;
- ✓ испаряясь, разбавляет и охлаждает газы и пары в зоне горения;
- ✓ растекаясь по поверхности угля, изолирует древесину от действия лучистого тепла, препятствует выходу паров и газов (продуктов разложения древесины) в зону горения.

Но изоляция и разбавление лишь способствуют прекращению горения. Вода быстро снижает температуру только в верхнем тонком слое обугленной древесины, и горение на этом участке прекращается быстро. Однако при переносе струи в другое место верхний слой угля быстро высыхает, пиролиз древесины возобновляется и вновь возникает горение.

Наряду с положительными качествами у воды имеются и отрицательные свойства. Основной недостаток у воды как огнетушащего средства заключается в том, что из-за высокого поверхностного натяжения она плохо смачивает твердые материалы и особенно волокнистые вещества. Для устранения этого недостатка к воде добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), их называют *смачивателями*. На практике используют растворы ПАВ, поверхностное натяжение которых в 2 раза меньше, чем у воды. Применение растворов смачивателей позволяет уменьшить расход воды при тушении пожаров на 35–50 %; снизить время тушения на 20–30 %, что обеспечивает тушение одним и тем же объемом огнетушащего вещества на большей площади.

Для охлаждения отдельных видов горючих материалов кроме воды применяется *твердый* диоксид углерода (CO_2). Твердый диоксид углерода – это мелкокристаллическая масса с плотностью $\rho = 1,53 \text{ кг/м}^3$, которая при нагревании переходит в газ, минуя жидкое состояние. Это позволяет тушить ею материалы, портящиеся от воздействия влаги. Кипит диоксид углерода при температуре $-78,5 \text{ }^\circ\text{C}$, теплота испарения составляет 573,6 Дж/кг. Эта цифра значительно меньше, чем у воды, однако скорость охлаждения горящих веществ достаточно высока. Это объясняется большой разностью температур у углекислоты и на поверхности горящего материала.

Твердый диоксид углерода прекращает горение всех горючих веществ, за исключением металлического натрия и калия, магния и его сплавов. Он не электропроводен, поэтому применяется для тушения электроустановок под напряжением, двигателей, а также при пожарах в архивах, музеях, библиотеках, на выставках и т. д. При тушении он подается на поверхность горящих веществ равномерным слоем.

Несмотря на то, что плотность твердого CO_2 в полтора раза выше, чем у воды, вследствие непрерывного перехода в газ и создания своеобразной газовой подушки, она не тонет в горячей жидкости и находится на ее поверхности. Верхний слой горящего вещества при этом охлаждается, и количество горючих

паров и газов в зоне горения уменьшается. Возгонка твердой углекислоты в газ и испарение горючего вещества происходят на одной поверхности. Поэтому в зону горения поступает смесь горючих паров с диоксидом углерода, что приводит к снижению скорости реакции и температуры горения ниже температуры потухания.

Другим методом прекращения горения, основанным на охлаждении зоны реакции, является метод перемешивания горящего вещества (в сыпучем или жидком состоянии) с нижними, более холодными слоями. Вследствие этого происходит охлаждение верхнего слоя и снижение скорости горения до таких пределов, при которых горение становится невозможным. Этот метод используют в настоящее время при тушении зерна в силосах элеваторов и огнеопасных жидкостей в резервуарах.

Химическое торможение реакции горения. Эффект прекращения горения может быть достигнут также и в том случае, если в зону горения подавать огнетушащие средства, способные изменять направление химической реакции благодаря резкому уменьшению количества выделяющегося при горении тепла.

Механизм прекращения горения *химическим торможением* реакции горения заключается в том, что непосредственно в зону горения вводят такие огнетушащие вещества, которые вступают во взаимодействие с активными центрами реакции окисления, образуют с ними либо негорючие, либо менее активные соединения, *обрывая тем самым цепную реакцию горения*. Поскольку эти вещества оказывают воздействие непосредственно на зону реакции, в которой реагирующие вещества находятся в паровоздушной фазе, они должны отвечать следующим специфическим требованиям:

- ✓ иметь низкую температуру кипения, чтобы при низких температурах легко переходить в газообразное состояние;
- ✓ иметь низкую термическую стойкость, т. е. при низких температурах разлагаться на составляющие их атомы и радикалы;
- ✓ продукты термического распада огнетушащих веществ должны активно вступать в реакцию с активными центрами горения.

Этим требованиям отвечают галоидированные углеводороды – особо активные вещества, которые оказывают *ингибирующее действие* на процессы окисления, т. е. тормозят химическую реакцию горения. Однако эти вещества очень токсичны. Наиболее широкое применение нашли составы на основе брома и фтора. Галоидированные углеводороды и огнетушащие составы на их основе имеют высокую огнетушащую способность при сравнительно небольших расходах.

Прекращение горения достигается именно химическим путем. Если для прекращения горения разбавлением необходимо снизить концентрацию кислорода, то в данном случае она остается в пределах 20–20,6 %, что достаточно для протекания реакции окисления.

Бромистый метилен (CH_2Br_2) жидкость, $\rho = 1732 \text{ кг/м}^3$, плотность по воздуху: 60; температура замерзания: $-52,5^\circ\text{C}$, температура кипения: $+98^\circ\text{C}$, из 1 л

жидкости получается около 350 л пара. Он хорошо смешивается с бромистым этилом (C_2H_5Br) и растворяет диоксид углерода.

Бромистый этил (C_2H_5Br) – легковоспламеняющаяся жидкость с характерным запахом; $\rho = 1455,5 \text{ кг/м}^3$, плотность по воздуху ~ 4 ; температура заморозки – 199°C ; температура кипения $+38,4^\circ\text{C}$. При содержании в воздухе в концентрации 6,5–11,3 % объемных он может воспламениться от мощного источника зажигания, поэтому в чистом виде не применяется. Из 1 л жидкости при испарении получается 400 л пара. Бромистый этил не электропроводен, плохо растворим в воде, и образует с ней эмульсию. Характеризуется высокими коррозионными свойствами, особенно по отношению к алюминиевым сплавам.

Некоторые огнетушащие составы разработаны на основе смеси галоидированных углеводородов и воды, и имеют свойства этих двух компонентов.

Водобромэтиловая эмульсия – это смесь из 90 % масс. воды и 10 % масс. бромистого этила. Для ее получения в бачок для пенообразователя заливают бромистый этил и с помощью стационарного пеносмесителя его вводят в воду. Эмульсию подают через стволы-распылители. Капли эмульсии имеют следующее строение: капелька бромэтила заключена в водяную оболочку. Попадая в зону горения, бромистый этил из-за низкой температуры кипения мгновенно превращается в пар, разрывая оболочку из воды, при этом капельки воды становятся мелкодисперсными. Горение прекращается как за счет разбавления горючих паров и газов водяным паром, так и химическим торможением реакции окисления. Время тушения эмульсией в 7–10 раз ниже по сравнению со временем тушения водой.

Галоидированные углеводороды и огнетушащие составы на их основе имеют низкую температуру заморозки, поэтому их можно эффективно применять в условиях низких температур, однако по экологическим условиям производство галоидированных углеводородов сокращается.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие представления о процессе горения существовали до конца XVIII в.?
2. Кто впервые подверг сомнению «флогистонную» теорию горения?
3. Что доказал А. Лавуазье своими исследованиями процесса горения?
4. Какую теорию развивал А. Н. Бах в XIX в., и что ему удалось доказать?
5. Что позволяют объяснить и математически доказать теории теплового ускорения реакций и цепных реакций горения, развитые Н. Н. Семеновым?
6. Дайте определение процессу горения.
7. Какого типа химическую реакцию принято считать основой процесса горения?
8. Чем обеспечивается механизм цепного горения? Теплового горения?
9. Дайте определение процессу самовоспламенения горючего материала.
10. Всегда ли реакции горения – это реакции окисления с участием кислорода?
11. Как иначе называют стандартную теплоту образования вещества?

12. Можно ли для оценки теплоты образования соединений воспользоваться значениями энергии разрыва связей?
13. Как Вы понимаете фразу: «неполное сгорание вещества»? Выгодно ли энергетически неполное сгорание вещества?
14. Что называют «активными центрами» при цепном механизме реакции окисления?
15. Какие стадии цепных реакций Вы знаете?
16. За счет чего может увеличиваться количество активных центров и происходить разветвление цепи?
17. Какие процессы приводят к обрыву цепи?
18. Как различить два вида теплового воспламенения: «самовоспламенение» и «вынужденное воспламенение»?
19. Как отличают самовозгорание от самовоспламенения?
20. Что может произойти при условии, если скорость прихода тепла в результате реакции окисления станет выше скорости отвода тепла из реакционной зоны в окружающее пространство?
21. Какую температуру называют температурой самовоспламенения?
22. От чего зависит величина температуры воспламенения?
23. Что описывает данное уравнение: $Q_+ = Qk_0 e^{-E/RT}$?
24. Дайте определение температуры воспламенения вещества.
25. О чем говорит данное выражение: $Q_+(T) = Q_-(T)$?
26. Для чего и как можно использовать диаграмму Семенова?
27. Что характеризует температура воспламенения, и от каких факторов зависит?
28. Назовите природу возможных начальных импульсов, которые могут обусловить процесс теплового самовозгорания.
29. Назовите источники вынужденного воспламенения.
30. Назовите стадии теплового зажигания.
31. Важны ли процессы самоускорения реакции и преобладания Q_+ над Q_- при вынужденном самовоспламенении?
32. Что считают критерием процесса зажигания?
33. Каковы главные условия процесса горения?
34. Что определяет данная формула $\tau_p = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}}$?
35. Почему при условии $\tau_p \approx \tau_{\text{физ}}$ горение называют диффузионным?
36. К какому виду горения Вы отнесете горение древесины?
37. За счет каких физических процессов передается теплота, образующаяся при горении?
38. Как называют зону, в которой происходит химическая реакция окисления веществ?
39. Если горючее вещество содержит в своем составе атомы кислорода, то для его сгорания потребуется больше кислорода воздуха или напротив – меньше?
40. К решению каких задач сводится расчет материального и теплового балансов реакций горения?

41. Зависит ли метод расчета количества необходимого для полного сгорания воздуха от типа горючего материала?
42. Участвуют ли в процессе горения атомы азота и неорганические элементы, входящие в состав древесины, торфа?
43. Участвуют ли в процессе горения атомы серы, входящие в состав торфа?
44. По какой формуле рассчитывают теплоту сгорания горючих материалов?
45. Как учитывают атомы кислорода, входящие в элементный состав древесины при расчете теплоты сгорания?
46. В каких единицах измеряют теплоту сгорания?
47. Что понимают под а) «высшей теплотой», б) «низшей теплотой» сгорания?
48. Какие величины связывает данное выражение $Q_B = Q_H + k(W + 9H)$?
49. Что понимают под «скрытой теплотой сгорания»?
50. По низшей или по высшей теплоте сгорания производят тепловые расчеты для определения степени пожарной опасности в России? В США, Канаде, Великобритании, Франции?
51. Является ли величиной постоянной температура горения (T_r) для одного и того же вещества или материала и от каких факторов она зависит?
52. При каких условиях рассчитывают теоретическую температуру горения веществ и материалов?
53. Отличаются ли теоретическая температура горения вещества от экспериментальной? Если да, то насколько?
54. Назовите физические методы и химические методы прекращения горения.
55. Подходит ли метод разбавления концентраций реагирующих веществ для прекращения диффузного горения? Для открытых пространств?
56. Можно ли использовать метод изоляции зоны реакции при прекращении горения твердых, жидких и газообразных веществ?
57. Назовите свойства огнетушащих средств, которые можно использовать для тушения пожаров методом изоляции.
58. Назовите свойства огнетушащих средств, которые применяются для прекращения горения методом охлаждения реагирующих веществ.
59. Какие огнетушащие средства наиболее эффективны для прекращения горения методом охлаждения реагирующих веществ?
60. Назовите механизм прекращения горения, использующийся в методе химического торможения реакции горения.
61. Какие требования предъявляют к веществам, использующимся в методе химического торможения реакции горения? Назовите основные вещества, используемые в этом методе.

3. Причины и условия возникновения лесных пожаров.

Характеристики лесного горючего материала.

Классификация лесных пожаров

3.1. Источники тепла в лесу, причины и условия возникновения лесных пожаров

Источники тепла в лесу. Нужно различать два типа *первичных источников тепла* способствующих возникновения пожара:

- ✓ естественные (природные): чаще всего огонь возникает при разрядах молний;
- ✓ искусственные (антропогенные): открытый огонь от спички, костра, окурка; проведение различных огневых работ (выжигание прошлогодней травы, стерни, сжигание порубочных остатков, строительного хлама и т. п.); искры и раскаленная окалина металла при сварке металлоконструкций и ремонте техники в лесу; загорание мха, попадающего на выхлопные трубы колесных и гусеничных машин; самовозгорание торфа или лигнина на отвалах ЦБК с последующим переходом огня в лес; стрельба на полигонах, использование на охоте зарядов с тлеющими пыжами, умышленные поджоги, повышенным источником пожароопасности в лесу являются также автомобильные и железные дороги.

Естественные источники тепла. Наиболее часто массовые вспышки лесных пожаров возникают после прохождения «сухих» фронтальных гроз, развивающихся на малоподвижных холодных атмосферных фронтах. Как правило, им предшествует длительный сухой период, характеризующийся высокой температурой и низкой влажностью воздуха и лесных горючих материалов.

Не каждый удар молнии, достигающий земли, (леса) вызывает загорание. По данным специалистов службы охраны лесов Канады, из 100 ударов молний только в 1–2 случаях возникают лесные пожары. Эти данные получены на основании регистрации грозопеленгаторами молний, достигающих земной поверхности. Система регистрации молниевых разрядов представляет собой территориально распределенную радиоэлектронную информационную систему, которая позволяет в реальном масштабе времени на территории, измеряемой сотнями и тысячами километров, фиксировать сигналы электромагнитного излучения молниевых разрядов, проводить выборку разрядов «облако – земля», определять их координаты и энергетические характеристики, отслеживать и прогнозировать движение грозовых фронтов.

Для лесов России грозы являются вторым по значимости фактором пожарной опасности. Например, по данным Авиалесоохраны доля пожаров от гроз за период с 2000 по 2008 г. в Красноярском крае составила от 0,22 до 0,45, а по ряду отделений она стабильно превышала 0,70. Лесные пожары от молний начинаются, как правило, через несколько часов, а иногда, и суток, хотя нередко случаи появления горения и дыма, особенно в сухих борах, одновременно с ударом молнии.

Причины возникновения лесных пожаров обусловлены не только условиями погоды, типом лесной растительности и влагосодержанием лесных горючих материалов (табл. 3.1). По данным исследований института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН молнии вызывают лесные пожары при влажности горючих материалов в лесной подстилке менее 7 %.

Искусственные источники тепла. Статистические данные говорят о том, что в густонаселенных территориях до 90 % лесных пожаров возникают по вине человека. Значения вероятности антропогенной нагрузки на лесные фитоценозы $P_i(A)$ в зависимости от расстояния m от населенного пункта представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Связь опасности возникновения огня от влажности лесных горючих материалов (И. С. Мелехов, 1979 г.)

Влажность лесных горючих материалов в лесной подстилке, %	Источники огня
21–25 и выше	Костры, хозяйственные палы
16–20	Горящие спички, молнии
11–15	Глеющие окурки, пепел из трубок
7–10	Глеющие спички
5–6	Искры от двигателей внутреннего сгорания

Таблица 3.2

Значения вероятностей антропогенной нагрузки на лесные фитоценозы

$m, м$	50	100	250	500	750	1000
$P_i(A)$	0,096	0,097	0,098	0,099	0,101	0,102
$m, м$	2000	3000	4000	5000	7500	10 000
$P_i(A)$	0,108	0,114	0,120	0,125	0,143	0,160

Для определения вероятностей возникновения лесных пожаров, за счет действия антропогенной нагрузки и молний было предложено использовать определение вероятностей через частоты событий и воспользоваться статистическими данными для соответствующей лесной территории (А. М. Гришин). Аналитические выражения для определения вероятностей антропогенной и природной нагрузок на лесные фитоценозы, достаточных для зажигания лесных горючих материалов, и вероятностей лесных пожаров, вследствие этих нагрузок на i -м участке лесной территории, представлены в следующем виде:

$$P_i(A) \approx N_{Ai} / N_{ПAi},$$

$$P_i(ЛП / A) \approx N_{ПAi} / N_{КПи},$$

$$P_i(M) \approx N_{Mi} / N_{ПCi},$$

$$P_i(ЛП / M) \approx N_{ПМи} / N_{КПи},$$

где N_{Ai} – количество дней пожароопасных сезонов для i -го выдела, когда имеется антропогенная нагрузка, достаточная для зажигания легкогорючего материала (ЛГМ); $N_{ПAi}$ – количество пожаров вследствие антропогенной нагрузки, включая и умышленные поджоги; $N_{КПi}$ – общее количество пожаров для i -го выдела за 5 лет; $N_{Мi}$, $N_{ПСi}$ – число дней для i -го выдела, когда имели место молнии (при сухих грозах) и общее число дней пожароопасных сезонов для i -го выдела за 5 лет; $N_{ПМi}$ – количество пожаров от молний при сухих грозах за пять лет.

Итоговую формулу лесопожарного риска можно представить следующим образом:

$$P_{ij} = \{[P_{ij}(A) P_{ij}(ЛП/A) + P_{ij}(M) P_{ij}(ЛП/M)] P_{ij}(C)\} \times \Pi_{ij},$$

где $P_{ij}(C)$ – вероятность лесных пожаров для определенного значения величины природной пожарной опасности – определяется по методике ЛенНИИЛХ; нагрузка $P_{ij}(A)$ антропогенная; $P_{ij}(ЛП/A)$ – вероятность возникновения лесного пожара от антропогенной нагрузки; $P_{ij}(M)$ – количество молниевых разрядов на единицу площади лесной территории; $P_{ij}(ЛП/M)$ – вероятность возникновения лесного пожара от сухих гроз для данной лесной территории; Π_{ij} – суммарный ущерб от лесного пожара.

Фазы горения и процессы переноса тепла. Если лесной пожар представить как сложное нестационарное физико-химическое явление, то процесс горения лесных горючих материалов можно описать пятью фазами:

- ✓ предварительный нагрев и подсушивание горючего материала с выделением водяных паров (120 °С);
- ✓ высыхание, горение с выделением водяных паров, горючих веществ – кислот, смол (260°С);
- ✓ воспламенение газов (315–425 °С);
- ✓ пламенное горение с выделением углекислого газа, водяных паров и несгоревших газов (650–1095 °С);
- ✓ обугливание и горение углей до полного сгорания горючих веществ.

Процесс распространения горения можно объяснить тем, что в результате горения выделяется большое количество тепла, которое передается окружающей среде, в том числе и очередной порции горючих материалов, за счет процессов *конвекции, излучения и проводимости*.

Определения

Конвекция – распространение тепла путем подъема массы горячего воздуха над местом горения в виде конвекционной колонки

Излучение – радиальное распространение тепла в виде лучистой энергии по радиусу от источника горения

Проводимость – распространение тепла по горючим материалам от очага горения

Определяющими факторами формирования конвекционных потоков над лесными пожарами являются интенсивность горения и скорость ветра. При интенсивности горения ~ 168 кДж/м·мин и величине отношения энергии пожара к энергии ветра >1 могут образовываться конвекционные потоки.

В конвекционной колонке могут находиться горящие ветки, пучки хвои, которые поднимаются над лесным пологом, а затем опускаются на лес на расстоянии 200–300 м от основного очага горения, в зависимости от скорости ветра и наклона конвекционной колонки. Тем самым они создают новые очаги горения. Скорость восходящих над пожарами потоков может достигать 35 м/с. Известны случаи, когда опрокидывались самолеты, летящие на высоте 1800 м. В условиях Красноярского края отмечались колонки, достигающие высоты более 5 км, которые заканчивались мощным кучевым облаком (рис. 3.1). При этом диаметр колонки составлял 800 и более метров. Такие потоки изменяют метеорологическую обстановку в пограничном слое атмосферы до высоты 1,5 км и оказывают существенное влияние на безопасность полетов при тушении пожаров с воздуха.

Излучение тепловой энергии вызывает нагревание и подсушивание окружающего древостоя, что способствует загоранию хвои. Лесные материалы могут проводить тепло по лишайникам, мху, травянистой ветоши, хвое на деревьях и кустарниках, а также по валежникам, корням и другим частям древесных и кустарниковых растений, что может способствовать возникновению подземных (торфяных) лесных пожаров.



Рис. 3.1. Конвекционная колонка

(http://www.kgau.ru/distance/00_cdo_old/demo_res/pozar/illustr/il_011.html)

3.2. Характеристики лесного горючего материала

Структура и расположение слоя горючих материалов в пространстве по отношению к зоне горения и направлению силы тяжести определяют количество тепловой энергии, необходимой для возгорания.

Наиболее полно тепловая энергия используется в случае, если зона горения размещается *внутри* слоя горючего, как это бывает при горении торфа.

При размещении зоны горения *на поверхности* горючего материала тепловая энергия используется менее эффективно. Так, например, торф, залегающий на глубине, может гореть при влагосодержании до 400 %, а если зона горения размещена на поверхности горючего материала – горение распространится по поверхности материала только в случае, когда он станет воздушно-сухим (т. е. при влагосодержании $<25\%$).

Структура слоя горючего определяется размерами его частиц и расположением их в пространстве. Чем мельче частицы горючего, тем больше поверхность, приходящаяся на единицу объема, и тем быстрее они нагреваются до температуры воспламенения.

Расстояние между частицами также имеет большое значение. Если расстояние слишком велико, пламя при горизонтальном распространении горения не может переходить от одной частицы к другой и горение прекращается. То же самое может произойти и при слишком малых расстояниях между частицами ($<0,5$ мм), поскольку диффузия кислорода к горючему материалу затрудняется. Именно по этой причине слабо горит слежавшаяся на почве мелкая хвоя ели, в то время как на ветках она может хорошо гореть даже в сыром состоянии. Исключением являются торф, лесная подстилка и гнилая древесина, состоящие из очень мелких пылеватых частиц. Их тление происходит при довольно плотной структуре.

Основная масса тепла, образующаяся при горении, устремляется вверх, нагревая горючий материал, расположенный выше зоны горения. Подготовка к воспламенению горючих материалов, расположенных ниже зоны горения, происходит очень медленно.

Следует различать *естественные лесные горючие материалы* и горючие материалы *техногенного происхождения*.

Естественные лесные горючие материалы в зависимости от их влагосодержания, расположения и размеров частиц делят на две группы:

✓ *активные* (поддерживают горение – лишайники, мхи, травяная ветошь, хвоя на деревьях и кустарниках, некоторые кустарнички (кедровый стланник, вереск, багульник), пни, валежник, хворост, сухостой, подстилка и торф);

✓ *пассивные* (могут сгорать лишь в пламени активных – зеленые травы, листва и древесина вегетирующих деревьев и кустарников).

Активные горючие материалы, располагающиеся непрерывным слоем, называются *проводниками горения*. Основными проводниками горения являются мохово-лишайниковый напочвенный покров, слой из лесного опада и отмерших трав (травяной ветоши). Высокая горимость насаждений с покровом из лишайников и зеленых мхов объясняется свойством этих растений не только впитывать влагу, содержащуюся в воздухе, но и легко испарять ее. Это их свойство называется *гигроскопичностью*. Благодаря высокой гигроскопичности лишайники восстанавливают способность к загоранию уже на второй день после

выпадения дождя. Зато ночью и при наступлении погоды с высокой влажностью воздуха лишайники и мхи, благодаря своей гигроскопичности, быстро увлажняются. По этой причине лесные пожары ночью, особенно в предутренние часы, когда выпадает роса, могут временно затухать.

Наиболее высокой гигроскопичностью из всех лесных растений отличается болотный мох сфагнум. Быстрое высыхание сфагнума возможно только при отрыве его от сырого субстрата. Поэтому только в сильные засухи, когда пересыхают даже болота, сфагнум становится проводником огня.

Однако в лесу произрастает и такой мох, который может эффективно ограждать от огня территорию. Его называют *политрихум* или кукушкин лен. Влажность его не бывает $< 30 \%$. Высокой устойчивостью к огню отличаются различные виды вечнозеленых грушанок (рис. 3.2), а также плауны, толокнянка, кошачья лапка, которые относятся к растениям – «антипиренам».

Проводник техногенного происхождения – непрерывный слой порубочных остатков на неочищенных лесных вырубках.



Рис. 3.2. Мох политрихум (а), грушанка (б)

3.3. Классификация лесных пожаров и их характеристика

Определение

Лесной пожар – это неуправляемое горение, распространяющееся по лесной площади, окруженной не горящей территорией

Данное определение следует понимать следующим образом: если два очага горения соединятся, то образовавшийся общий очаг горения считают одним пожаром, а в том случае, если пожар перебросит огонь через широкую пойму реки и там возникнет другой очаг горения, то его рассматривают как новый, самостоятельный пожар.

3.3.1. Элементы пожара

Терминология относительно различных элементов пожара, выработанная практикой работ при тушении пожаров, приведена на рис. 3.3. Единый подход к

названиям отдельных элементов пожара обеспечивает взаимопонимание при организации его тушения.

Наиболее интенсивное горение при лесном пожаре происходит на его *кромке*, в то время как внутри площади, пройденной огнем, догорают отдельные пни, валежины, дуплистые деревья, муравьиные кучи и др.

Определения

Фронт пожара – часть кромки пожара, которая продвигается с высокой скоростью и горит наиболее интенсивно

Тыл пожара – часть кромки пожара, противоположная фронту и расширяющаяся с наименьшей скоростью

Фланги пожара – части кромки между тылом пожара и его фронтом

На равнине фронт пожара всегда движется по ветру, а тыл – против ветра. В горах фронтальной кромкой будет та, которая поднимается вверх по склону.

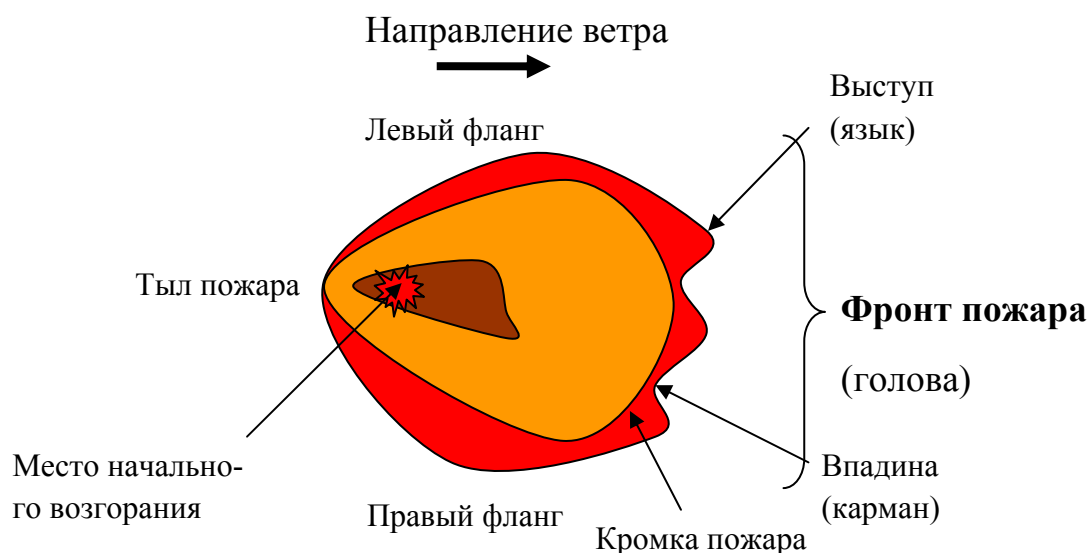


Рис. 3.3. Элементы лесного пожара

В зависимости от обстоятельств распространения, лесной пожар может иметь различную форму:

- ✓ округлую (наблюдается при равномерном распространении огня в безветренную погоду при однородных горючих материалах и относительно ровной местности);
- ✓ неравномерную (отмечается при переменном ветре, разнородных горючих материалах, сильно пересеченной местности);
- ✓ эллиптическую (наблюдается при устойчивом ветре, относительно ровной местности, однородности горючих материалов).

Форма пожара и его площадь определяют длину кромки лесного пожара.

Классификация лесных пожаров построена по принципу воздействия огня на различные ярусы биогеоценоза.

Лесные пожары делят на группы:

- ✓ *низовые;*
- ✓ *почвенные;*
- ✓ *верховые;*
- ✓ *пятнистые.*

3.3.2. Низовой пожар

Низовой пожар характеризуется горением нижних ярусов растительности лесного биоценоза. Распространение огня происходит по напочвенному покрову. Горит лесной опад, состоящий из мелких ветвей, коры, хвои, листьев, лесная подстилка, сухая трава и травянистая растительность, живой напочвенный покров из трав, мхов, мелкий подрост и кора в нижней части древесных стволов.

По скорости распространения огня и характеру горения низовые пожары характеризуют как *беглые* и *устойчивые*.

Беглый низовой пожар возникает чаще всего в весенний период, когда подсыхает лишь самый верхний слой мелких горючих материалов напочвенного покрова и прошлогодняя травянистая растительность. Скорость распространения огня достигает 180–300 м/ч (3–5 м/мин) и находится в прямой зависимости от скорости ветра в приземном слое. Лесная подстилка сгорает на 2–3 см вглубь. При этом участки с повышенной влажностью напочвенного покрова остаются нетронутыми огнем и площадь, пройденная беглым огнем, имеет пятнистую форму. Беглый огонь сравнительно мало повреждает древостой, поскольку не задерживается долго на одном месте. Поэтому термин «беглый» было бы правильнее понимать как *поверхностный*. При беглом пожаре уничтожается самосев леса, обгорают кора нижней части деревьев и выходящих на поверхность почвы корней, повреждаются подрост и подлесок. Такие пожары причиняют наименьший вред лесу, поскольку количество сгорающих горючих материалов невелико (рис. 3.4). Наблюдается мозаичность в распространении огня по площади, участки с повышенной влажностью напочвенного покрова не горят.

Устойчивый низовой пожар характеризуется полным сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки. Устойчивые низовые пожары развиваются в середине лета, когда подстилка просыхает по всей толщине залегания. На участках, пройденных устойчивым пожаром, полностью сгорает лесная подстилка, подрост и подлесок. Обгорают корни и кора деревьев, в результате этого насаждение получает настолько серьезные повреждения, что часть деревьев гибнет. Скорость распространения огня при устойчивом низовом пожаре от нескольких метров достигает 180 м/ч (1–3 м/мин). Минимальная скорость пламенного горения составляет 0,2 м/мин. По высоте пламени горения кромки низовые пожа-

ры характеризуются как *слабые* (высота пламени до 0,5 м), *средние* (высота пламени до 1,5 м) и *сильные* (высота пламени более 1,5 м).



Рис. 3.4. Низовой пожар
(<http://www.alexnews.info/archives/3813>)

Разновидностью устойчивого низового пожара является *валежный пожар*. В Восточной Сибири опасность возникновения валежных пожаров чрезвычайно высока, так как в лесах имеются огромные площади старых гарей, неочищенных лесосек и других захламленных территорий. Такие участки почти непроходимы для техники. Валежные пожары распространяются очень быстро и охватывают значительные территории. Вследствие высокой интенсивности горения уничтожается органический слой почвы. Борьба с валежными пожарами крайне затруднена.

В условиях Восточной Сибири, где распространены зеленомошные леса, такие пожары возникают в засушливый летний период. Средняя скорость продвижения фронта пожара 1–3 м/мин, огонь дольше задерживается на одном месте и оказывает сильное локальное воздействие. Длительность горения объясняется не уменьшением скорости продвижения кромки пожара, а увеличением ее ширины, которая составляет около 1 м. При устойчивых пожарах лесная подстилка толщиной до 15 см и влажностью 7–20 % выгорает до минерального слоя и вместе с нею сгорает или повреждается поверхностная корневая система деревьев. Особенно сильно страдают ельники, а в сосняках и лиственничниках наблюдается отпад до 30 % по запасу, в зависимости от возраста и типа леса. На таких участках создаются условия для последующих высокоинтенсивных пожаров.

Деление низовых пожаров на беглые и устойчивые имеет большое практическое значение. Отличаются не только последствия этих видов пожаров, но различны и тактические приемы их тушения.

3.3.3. Верховой пожар

Верховой пожар отличается от низовых тем, что наряду с горением напочвенного покрова и лесной подстилки горят и кроны деревьев (рис. 3.5). Они

возникают чаще в засушливую погоду и при ветрах средней и большой скорости, за исключением хвойных молодняков, в которых низовой пожар легко переходит в верховой из-за низкоопущенных крон даже при слабом ветре.

Причины возникновения и разрастания верховых пожаров: переход огня низовых пожаров на кроны хвойных древостоев с низкоопущенными ветвями, в многоярусных древостоях с обильным подростом, молодняках, а также в горных лесах. Возникновению верховых пожаров в значительной степени способствуют засухи и сильные ветры.

Верховой пожар также подразделяют на *беглый* и *устойчивый*. При *беглом* или *вершинном* верховом пожаре огонь распространяется по кронам деревьев скачкообразно со скоростью 250–330 м/мин. Такие пожары наблюдаются при скорости ветра более 15 м/с. Во время скачка горят только кроны деревьев, горение длится 15–20 сек, но за это время пламя уходит вперед на расстояние до 100 м. После каждого скачка распространение огня по кронам прекращается до очередного подхода кромки низового пожара. Как только низовой пожар пройдет участок, на котором сгорели кроны, начинается подогрев крон на следующем участке и процесс повторяется.



Рис. 3.5. Верховой пожар

(<http://uralpolit.ru/news/ecology/reviews/yuzhnouralskie-lesa-potushat-k-zime>)

С физической точки зрения такое распространение верхового огня объясняется тем, что тепло от горящих крон, поднимаясь наклонно по ветру, лишь частично попадает на соседние кроны и его оказывается недостаточно для подогрева хвои и подготовки ее к воспламенению. Полог древостоя подогревается в основном за счет тепла от низового пожара, под действием ветра тепло подогревает кроны впереди на довольно значительном расстоянии. Затем происходит вспышка, и огонь быстро охватывает подогретые кроны. Средняя скорость продвижения фронта беглого верхового пожара до 40 м/мин. При беглом верховом пожаре огонь быстро распространяется по кронам деревьев в направлении ветра.

При устойчивом верховом пожаре ширина горящей кромки составляет 6–8 м. Такие пожары имеют еще одно название: *повальные*, так как они приводят к полной гибели растительности. При устойчивом (повальном) горении огонь распространяется по всему древостою: от подстилки до крон.

Скорость верховых пожаров: устойчивого – 300–1500 м/ч (5–25 м/мин), беглого – 4500 м/ч и более (75 м/мин и более). Минимальная скорость распространения верхового огня составляет около 4500–4800 м/ч (75–80 м/мин).

Верховым пожарам наиболее подвержены хвойные молодняки, заросли кедрового стланика и дуба кустарниковой формы (весной при наличии сухих прошлогодних листьев).

3.3.4. Почвенный пожар

Почвенный пожар возникает и распространяется в результате «заглубления» огня низового пожара в подстилку и торфяной слой почвы.

Почвенные пожары дифференцируют

- ✓ на *подстилочногумусный* (горение распространяется на всю толщину лесной подстилки и гумусного слоя);

- ✓ на *подземный*, или *торфяной* (горение распространяется по торфянистому горизонту почвы или торфяной залежи под слоем лесной почвы).

Торфяные пожары. Торф – это продукт неполного разложения растительной массы в условиях избыточной влажности и недостаточной аэрации. Торф имеет самый высокий из всех твердых топлив показатель влагоемкости. Усредненный элементный состав торфа (С 52–56 % масс.; Н 5–6 % масс.; О 30–40 % масс.), высокая теплотворная способность (23 045 кДж/кг) и коэффициент теплопроводности (1,6–2,09 кДж/кг.°С) свидетельствуют о том, что он способен гореть и без доступа кислорода воздуха. При нагревании торф высушивается, затем происходит его пиролиз с образованием горючих газообразных компонентов и кокса. При торфяных пожарах на больших массивах фронт горения очень неоднороден, оно происходит в основном очагами различного размера. Цвет очагов белый, поверхность горения со временем заглубляется под негорящую поверхность, т. е. происходит образование внутренних полостей в торфе. При торфяном пожаре сгорают корни, деревья вываливаются и падают вершинами к центру пожара. Пожарище в большинстве случаев имеет круглую или овальную форму. Скорость распространения огня незначительна – от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров в сутки.

Торфяная залежь обычно имеет относительную влажность 92–95 %, что делает ее сравнительно безопасной в пожарном отношении. Торфяные пожары чаще случаются во второй половине лета, когда в результате длительной засухи верхний слой торфа просыхает до относительной влажности 25–100 %.

Глубина прогорания торфяной залежи определяется уровнем залегания грунтовых вод. Горение обычно происходит в беспламенной фазе, т. е. в режиме «тления», как за счет кислорода, поступающего вместе с воздухом, так и за счет его выделения при термическом разложении торфа. Хотя скорость про-

движения кромки торфяного пожара составляет всего несколько метров в сутки, они отличаются устойчивостью горения, которое при заглублении на 1,0–1,5 м не могут ликвидировать даже обильные осадки.

Процесс горения в нижней части происходит значительно интенсивней, чем сверху. Это можно объяснить тем, что свежий холодный воздух, как более тяжелый, поступает в нижнюю часть зоны горения, где реагирует с горящим торфом. Углекислый и угарный газы, а также продукты пиролиза торфа, находясь в верхней части зоны горения, препятствуют доступу к ней кислорода. Распространению горения на верхние слои почвы препятствует также повышенная влажность в задернелом корнеобитаемом слое почвы, хорошо удерживающем влагу от выпадения осадков и капиллярного подъема грунтовых вод. Заглубляясь в нижние слои торфа до минерального грунта или уровня грунтовых вод, горение может распространяться на десятки и сотни метров от входного отверстия, лишь местами выходя на поверхность.

Торф с абсолютной влажностью 500% в 1 дм³ при плотности 0,1 кг/дм³ содержит 0,5 дм³ воды. На ее нагрев до 100 °С расходуется 210 кДж, на испарение – 1131 кДж, на подогрев торфа до температуры воспламенения – 126 кДж. Теплота, выделяющаяся при сгорании 1 кг торфа, составляет 20 950 кДж/кг. При плотности, равной 0,1 кг/дм³ она составит 2095 кДж. Этого достаточно для поддержания процесса горения при влажности торфа 500%. Указанное явление объясняется низкими значениями коэффициента теплопроводности торфа в залежи, которое составляет 0,07–0,13 Вт/м²·град, и возрастает с увеличением степени разложения торфа. В очаге горения температура достигает 700 °С. Горение в верхнем слое может распространяться при влажности торфа 300–400 %.

Несмотря на отсутствие пламенного горения, торфяные пожары очень опасны, поскольку поверхностный слой почвы часто остается несгоревшим, а под ним располагается горящая пещера («печка»), куда в случае неосторожного поведения может провалиться человек, техника и др.

Для определения силы лесных пожаров Н. П. Курбатский предложил классификацию (табл. 3.3), которую используют в различных практиках тушения пожаров.

Силу пожара, определяют по наиболее интенсивно горящей части кромки. Она зависит от многих факторов: вида и состояния горючих материалов, условий погоды, времени суток и др., и потому при тушении пожара очень важно правильно учесть вероятные изменения силы пожара.

Таблица 3.3

Классификация лесных пожаров по их силе

Показатель силы пожара	Значения показателей силы пожара		
	слабый	средний	сильный
<i>Низовой пожар</i>			
Скорость распространения огня, м	до 1	1–3	> 3
Высота пламени, м	до 0,5	0,5–1,5	> 1,5

Показатель силы пожара	Значения показателей силы пожара		
	слабый	средний	сильный
<i>Верховой пожар</i>			
Скорость распространения огня, м/мин	до 3	3–100	> 100
<i>Почвенный пожар</i>			
Глубина прогорания, м	до 0,25	0,25–0,50	>0,50

3.3.5. Пятнистый пожар

Пятнистые пожары – это высокоинтенсивные лесные пожары, над которыми возникают мощные конвекционные потоки нагретого воздуха и продуктов сгорания, которые поднимают вверх и рассеивают перед кромкой пожара горящие частицы, от которых возникают пятна новых пожаров.

В настоящее время не сложилось единого мнения о правомерности выделения пятнистых пожаров в отдельный тип. Некоторые исследователи, основываясь на особенностях этих пожаров, считают их отдельным типом, имеющим принципиальные отличия; другие представляют пятнистые пожары как стадию развития верховых пожаров. Поскольку такой тип пожаров требует изменения тактики их предупреждения и тушения, то выделение пятнистых пожаров в отдельный тип обосновано.

3.4. Прогнозирование пожарной опасности

3.4.1. Пирологические свойства лесных горючих материалов

Рассмотрим такие свойства лесных горючих материалов, знание которых, в первую очередь, полезно специалистам в области лесного дела, и которые наиболее важны для практики тушения лесных пожаров.

Известно, что растения состоят из органических и минеральных соединений. Основными органическими веществами являются, целлюлоза ($C_6H_{10}O_5$) – главная составная часть клеточных стенок растений, обуславливающая механическую прочность и эластичность растительных тканей; лигнин – природный полимер, придает клеточным стенкам сосудистых растений жесткость и прочность, содержится в одревесневших растительных тканях; гемицеллюлозы – полисахариды высших растений.

Клетки включают белки, жиры, танины, смолы и эфирные масла. Большая часть их может быть экстрагирована (извлечена) из растений растворителями и поэтому их называют *экстрактивными веществами*. Неорганическая часть образует золу при сжигании растений. Она представлена следующими элементами: кальций, калий, натрий, магний, кремний, железо и др.

Важная характеристика лесных горючих материалов – их структура. Под структурой в контексте пожароопасности понимают не только собственно структуру горючего материала, но форму, размеры, расположение частиц горючего по

отношению друг к другу и по отношению к почве, высоту слоя горючего, а также плотность самого материала.

Различают плотность покрова в целом и плотность составляющих его элементов.

Классификация лесных горючих материалов. Горючие материалы разделены по плотности сложения на *шесть классов*:

- ✓ открытый (подвешенно-продуваемый);
- ✓ рыхлый;
- ✓ полурыхлый;
- ✓ уплотненный;
- ✓ плотный;
- ✓ очень плотный.

Скорость распространения огня зависит от вида горючего и его объемной массы (табл. 3.4).

Необходимо отметить еще одну особенность лесного горючего – слоистость. Верхний (активный) подслон имеет более рыхлую структуру и меньшее влагосодержание в засушливую погоду, чем нижний подслон. В связи с этим пожароопасность участка, а также характер горения определяется состоянием и структурой их верхнего слоя.

Мы уже знаем, что важнейшей характеристикой горючих материалов является теплотворная способность, то есть количество тепла, выделяющееся при сгорании 1 кг горючего и энергия активации самовозгорания. Большое влияние на величину этих параметров оказывают *смолы и эфирные масла*, содержащиеся в растениях. Энергия активации самовозгорания древесины зависит не столько от концентрации этих групп веществ в древесине, сколько от их химического строения. А теплотворная способность зависит от элементного состава горючего материала и оценивается по формуле Д. И. Менделеева (Q_H).

На практике теплотворная способность горючего оказывается меньше даже низшего ее значения. Это связано с неполным сгоранием углерода. Химический недожог горючего материала составляет 10–20 %. Неорганические вещества, входящие в состав растений, также влияют на пирологические свойства горючих материалов. Сгорая, минеральная часть растений образует золу, которая состоит, в основном, из окислов кремния, фосфора, магния, калия, кальция, алюминия.

Таблица 3.4

Классификация лесных горючих материалов по плотности их сложения

Горючие материалы	Объемная масса, кг/м ³	Класс сложения	Преобладающая фаза горения. Тип пожара	Скорость распространения горения, м/ч
Хвоя и веточки в пологе древостоя	до 0,3	Открытый	Пламенная. Верховые	200–18 000
Опад злаковоразнотравной растительности (ветошь)	0,3–4	Рыхлый	Пламенная. Низовые беглые	18–15 000

Горючие материалы	Объемная масса, кг/м ³	Класс сложения	Преобладающая фаза горения. Тип пожара	Скорость распространения горения, м/ч
Неразложившийся опад из листвы, лишайники кустистые	5–12	Полурых- лый	Пламенная. Низовые беглые	12–600
Зеленые мхи, сфагнум, полуразложившийся опад листвы (средний слой подстилки), опад из длинной хвои (сосна, кедр)	13–30	Уплотнен- ный	Разнофазная. Низовые устойчи- вые	3–200
Торф, сильноразложившийся опад (нижний слой подстилки), уплотненный опад из короткой хвои (ель, пихта, лиственница)	31–80	Плотный	Беспламенная. Торфяные, под- стилочные	0,6–80
Гумус, дернина	81–130	Очень плотный	Беспламенная. Подстилично- гумусовые, дерно- вые	0,015–0,5

Зола имеет низкую теплопроводность, поэтому не остывает и тем самым задерживает тепло, поэтому горение головешек под покровом золы может продолжаться длительное время. Поэтому в качестве еще одной характеристики горючих материалов выступает «зольность» (табл. 3.5). Под зольностью понимается отношение массы золы к массе горючего в абсолютно сухом состоянии, выраженное в процентах.

Таблица 3.5

Зольность и теплотворная способность растительных материалов

Горючий материал	Зольность, % масс.	Теплотворная способ- ность, кДж/кг	
		Высшая	Низшая
Проводники горения			
Осока	3,3–8,6	–	17489
Вейник	9,5	17974	–
Листья березы	0,75	20502	19121
Хвоя:			
–ель сибирская	4,1	20627	–
–пихта сибирская	3,5	24476	–
–лиственница сибирская	5,1–9,6	17974	–
–сосна обыкновенная	5,5; 2,4	21845	20585
–сосна сибирская	2,6	21757	–
Лишайники	2,7	18356	16820
Мох Шребера	3,6; 8,3	18356	18493
Лесная подстилка:			

Горючий материал	Зольность, % масс.	Теплотворная способ- ность, кДж/кг	
		Высшая	Низшая
–сосняк лишайниково-мшистый	10,4	20794	19665
–сосняк зеленомошный	9,8	20000	18870
<i>Торф:</i>			
–малой степени разложения	4–10	20920	19623
–высокой степени разложения	–	23849	22635
<i>Поддерживающие горение</i>			
Вереск	3,3	22426	20585
Багульник	2,7	24267	22259
Брусника	3,6; 2,9	21548	20209
<i>Задерживающие горение</i>			
Сфагнум	3,6	20058	18828

Зольность растительных материалов обычно не превышает 10 %; исключение составляют такие растения, как хвощи, солянки и др., имеющие зольность >20 %. Их относят к группе растений, задерживающих горение.

Различные части растения имеют не одинаковую зольность. Больше минеральных веществ содержится в листьях, меньше в стеблях и корнях. Изменяется зольность и в зависимости от возраста растений: у одних видов она возрастает, у других, наоборот, убывает.

Другим важным пирологическим параметром растительного горючего материала является его *влагосодержание*. Влагосодержание материалов, способных гореть, варьирует в достаточно широких пределах. Данный показатель определяют как отношение массы содержащейся в образце воды к сухой массе образца. Однако в некоторых случаях используют другой параметр – *влажность горючего* (отношение содержащейся в образце воды к общей массе влажного образца).

И, наконец, важное практическое значение имеет *температура горения* растительных материалов. Древесина содержит свыше 40% собственного кислорода и потому не может выделять большого количества тепла при окончательном окислении в процессе горения как, например, каменный уголь или нефть.

Согласно теоретическим расчетам температура горения составляет 1570–1605 °С. На практике, даже в зоне, где протекают химические реакции, ее величина значительно ниже теоретической из-за теплопотерь вследствие процессов излучения и конвекции. При горении древесины экспериментальные значения составляют 1070–1180 °С, а на лесных пожарах – около 1000 °С.

С. В. Белов дает следующие диапазоны реальных температур при низовых пожарах (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Диапазоны температур при низовых пожарах

Цвет пламени	Температура, °С
Пламя белого цвета	1000–1100
Пламя красного цвета	700–800

Цвет пламени	Температура, °С
Ярко горящие угли	800–1000
Тускло тлеющие угли	550–700

3.4.2. Физика горения лесных горючих материалов

Сложность и очень низкая эффективность всех существующих приемов и способов тушения лесных пожаров объясняется физикой горения лесных горючих материалов. Древесину относят к горючим материалам, способным гореть в двух режимах:

✓ в режиме гомогенного пламенного горения, когда над поверхностью, прогретой до 250–300 °С древесины горит смесь продуктов ее пиролиза с воздухом;

✓ в режиме гетерогенного, беспламенного горения, когда из поверхностного слоя прогретой до 500–700 °С древесины толщиной 1,5–2 см все продукты пиролиза уже выгорели, и выхода летучих веществ уже недостаточно для образования горючей газо-воздушной смеси над поверхностью древесины, а оставшийся слой угля прогрет до температуры 700–800 °С. В этом случае за счет диффузии кислорода воздуха (происходящей под давлением естественной конвекции нагретого воздуха или воздушных потоков ветра) начинается гетерогенный режим беспламенного горения углерода, которое называют *тлением*.

Эти два режима могут идти в любой последовательности и одновременно. Все зависит от вида древесины, ее толщины, влажности, температуры, расположения в пространстве, и, особенно от взаиморасположения горящих фрагментов древесины относительно друг друга: одиночные вертикальные стволы и ветки, горизонтальные или наклонные ветки, плотно расположенные или на расстоянии 0,5–1 м и более, сваленные в кучу на поверхности земли. Кроме того, режим горения зависит от температуры, влажности воздуха и интенсивности воздушных потоков (скорости ветра).

Сложенные в одну кучу фрагменты древесины могут гореть достаточно долго, пока тепловое взаимодействие горящих фрагментов древесины будет обеспечивать в совместном кондуктивно-конвективном и лучистом теплообмене тепловой поток к поверхности горения фрагментов древесины, процесс горения будет непрерывно продолжаться почти до полного выгорания горючего материала.

Однако в лесу горючий материал – стволы деревьев, ветки, листья, хвоя кроме лесной подстилки рассредоточены в пространстве на высоту до 25–35 м. Поэтому для любой величины горючей нагрузки российских лесов, в диапазоне от минимальной 10–20 кг/м² до наибольшей 300–350 кг/м² (не считая массы лесной подстилки), средняя, объемная плотность горючего материала сравнительно невелика и колеблется в пределах 5–15 кг/м³. Поэтому после первых 20–25 мин интенсивного пламенного горения, когда огнем полностью охвачен весь горючий материал, все тонкие горючие материалы – листва, хвойники, тонкие ветки, прутьи, сучья в основном успевают сгореть полностью. Пламенным горением могут продолжать гореть только ветки и стволы толщиной

более 4–5 см в диаметре в чередующемся, пламенно-беспламенном режиме, поскольку образующийся на поверхности горящей древесины угольный слой, толщиной 1–2 см имеет низкую теплопроводность и не допускает тепловой поток от зоны пожара к внутренним слоям древесины. Объемная плотность горючего материала через 20–25 мин пожара резко снижается. Огонь становится менее плотным, не сплошным. Тепловой поток к горящим элементам древесины становится ниже $10\text{--}15 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{с}$; температура внутренних слоев древесины снижается до 200°C и ниже. Процесс пиролиза горючего материала временно (на 5–15 мин) прекращается. За это время продолжается интенсивное тление обгоревших стволов и веток; углеродный слой с поверхности древесины выгорает. Толщина его снижается до 3–5 мм. Его «теплоизолирующее» действие, соответственно, также уменьшается. Тепловой поток от продолжающегося лесного пожара к внутренним слоям древесины возрастает. Температура этих слоев вновь повышается до $250\text{--}300^\circ\text{C}$, вновь возникает процесс пиролиза внутренних слоев древесины; интенсифицируется выход летучих продуктов пиролиза, над поверхностью древесины снова образуются паро-газо-воздушная горючая смесь и ветки вновь вспыхивают открытым пламенем. Этот режим пламенного горения, соответственно, может продолжаться еще 15–20 мин. А потом вновь перейдет в режим тления. Такое чередование пламенного горения и тления на каждом конкретном участке лесного массива может повторяться до 3–5 раз.

Но с каждым разом горючего материала в единице объема горящего лесного массива становится все ниже и ниже. Соответственно, все менее интенсивным становится процесс взаимного теплового обмена горящих фрагментов лесного пожара. Расстояние между горящими элементами дерева становятся больше на 0,5–1 м. Суммарный тепловой поток от зоны горения к горящей поверхности древесины становится ниже на $10\text{--}15 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{с}$, и пламенное горение на этом участке леса становится невозможным. Горение переходит в режим медленного тления. В зависимости от вида (породы) древесины, их возраста, плотности леса, погодных условий и ряда других обстоятельств, продолжительность пламенного горения лесного пожара колеблется от 2–3 до 5–15 ч. После этого наступает длительный процесс горения лесного материала в режиме тления. В зависимости от тех же обстоятельств, эта стадия пожара может длиться еще в течение нескольких часов. После чего горение древесины, как правило, прекращается. Горючий материал лесного массива почти никогда не выгорает полностью. В лесных горах на пожарище до 50 % горючего материала остается несгоревшим. Одинокие, голые стволы деревьев стоят в виде конических обгоревших, обугленных вертикальных столбов, которым для полного сгорания не хватило теплового взаимодействия с соседними стволами. В зависимости от погоды рано или поздно их горение прекращается само по себе. Лесная подстилка, где горючий материал лежит в виде значительно более плотной массы, чем в начале леса, процесс пламенного горения может длиться более долго, а процесс тления продолжаться в течение суток и даже нескольких недель.

3.4.3. Связь пожаров с природой леса

На основе характеристики лесных горючих материалов можно определить степень пожарной опасности различных видов леса в отдельные периоды пожароопасного сезона.

Светлохвойные леса (лиственничные и сосновые). Наибольшую опасность с пирологической точки зрения представляют лиственничные и сосновые насаждения с лишайниковым покровом из-за высокой разреженности древесного яруса. Разреженность способствует быстрому высыханию горючих материалов за счет усиленной инсоляции и большой скорости ветра. Кроме того, лишайники являются легко воспламеняющимся материалом. Сухие мелкие сучья и опад сосновой хвои повышают пожарную опасность и интенсивность горения. Пожары в светлохвойных лесах обычно низовые и характеризуются незначительной силой огня. При наличии куртин соснового подроста огонь может перейти в кроны.

Высокая пожарная опасность наблюдается также в верещатниках и брусничниках. Ярус из кустарничков усиливает горение и увеличивает высоту пламени. Присутствие в покрове кустистых лишайников повышает загораемость лесных площадей.

Зеленомошный, долгомошниковый покров и покров из черники в светлохвойных лесах снижает вероятность возникновения пожаров. Поскольку почвы в таких борах имеют высокую влажность. Для загорания таких участков необходима продолжительная засуха. Пожары носят беглый характер, и поэтому повреждения древостоев незначительные.

Сфагновые типы леса, где формируется редкая древесная растительность, зачастую являются естественными противопожарными барьерами. Однако горение сфагновых болот явление не редкое, хотя, они подвергаются воздействию пожаров лишь при продолжительных засухах. Наличие таких кустарничков, как голубика, кассандра, багульник сдерживает «пожарное созревание» участков, поскольку препятствует высыханию сфагнума.

Благодаря большому количеству света, проникающему сквозь разреженный полог светлохвойных пород, под их кронами развивается светолюбивая травянистая растительность, которая в вегетирующем состоянии является трудно загорающим материалом. Поэтому в травяных типах леса пожаров в летний период практически не бывает. Наиболее выражена пожарная опасность в весенний период, когда травяная ветошь просыхает и легко воспламеняется. Осенние пожары в данных типах более редки, что обусловлено началом сезона дождливой погоды.

Темно-хвойные леса (ельники и кедровники). Пожарная опасность темно-хвойных лесов меньше, чем светлохвойных при одинаковых погодных условиях, поскольку под тенистым пологом горючие материалы имеют высокую влажность. Кроме того, кедр зачастую произрастает на влажных почвах. Кедровые леса по горимости занимают промежуточное положение между сосняками и ельниками. Пожарная опасность кедровников во многом определяется легко

воспламеняющимся опадом из хвои и живой хвоей на деревьях, которая содержит большое количество легковоспламеняющихся эфирных масел.

Особенно сильно страдают от огня молодняки и старые леса. Более устойчивы к возгоранию спелые леса. Горимость спелых лесов неодинакова в разных условиях произрастания. В кедровниках, расположенных на относительно сухих почвах (лишайниковые и мшистые), пожарная опасность наиболее высокая, значительно ниже она в широколиственных типах.

По вероятности возникновения пожаров еловые типы разделяют на 3 группы:

- ✓ относительно легко загорающиеся ельники: брусничники и ельники-зеленомошники с сухими почвами;

- ✓ среднезагорающиеся ельники-черничники, произрастающие на суглинистых влажных и свежих почвах, а также ельники-кисличники;

- ✓ трудно загорающиеся ельники: насаждения, расположенные на почвах повышенного грунтового увлажнения – проточного (приручейные, приречные, луговые) и застойного (долгомошные, сфагновые).

Причина слабой горимости в последнем случае заключается не только в тенистости древесного полога, но еще рядом факторов:

- ✓ весенние разливы, затопляющие пойму;

- ✓ замедленное снеготаяние;

- ✓ повышенная влажность приземного слоя воздуха;

- ✓ наличие огнестойкого травяного покрова.

Весенние пожары в рассматриваемых типах леса практически исключаются. Большую роль в сокращении горимости лесов играет своеобразный рельеф припойменных территорий, уменьшающий опасность, перехода пожара с соседних повышенных участков. В качестве противопожарных барьеров выступают сами ручьи и реки, способные остановить продвижение слабых низовых пожаров. Тем не менее опасность возникновения верховых пожаров в этих лесах существует, особенно если имеются незначительные примеси лиственных пород.

В подлеске большое противопожарное значение имеют рябина, шиповник и малина, которые не только уменьшают возможность низового пожара, но в ряде случаев играют роль огнестойкого буфера, затрудняя переход огня в кроны.

Несмотря на то, что пожарная опасность в ельниках и кедровниках ниже, чем в сосняках и лиственничниках, последствия огневого воздействия в них тяжелее из-за поверхностного расположения корней, тонкой коры и низкоопущенной кроны. *В темнохвойных насаждениях велика угроза разрушительных верховых пожаров.* Особенно большая опасность загорания ельников ранее затронутых огнем, поскольку пожар резко меняет в них обстановку.

Лиственные леса. Лиственные леса имеют повышенную устойчивость против огня. Самой распространенной лиственной породой в России является береза. Березовые леса занимают 13,3 % покрытой лесом площади, что составляет немногим менее 100 млн га. Осиновые древостои имеют небольшой

удельный вес в покрытой лесом площади. Еще меньше распространены ива, ольха, тополь, дуб, клен, ильм.

Высокая огнестойкость лиственных деревьев обусловлена, прежде всего, большим содержанием влаги в листьях и других органах растения, что снижает теплопроводность крон. Кроме того, лиственные леса зачастую произрастают на почвах с повышенной влажностью (например, ива, ольха).

Однако в весенний и осенний периоды, когда деревья находятся в безлиственном состоянии и при этом увеличивается инсоляция, древостои интенсивнее продуваются ветром и улучшаются условия для высыхания напочвенных горючих материалов пожарная опасность резко возрастает, особенно в смешанных лесах, если в них преобладают лиственные породы.

Несмотря на повышенную устойчивость мелколиственных лесов к пожарам, сами породы иногда сильно страдают от огня. Пирологические свойства лиственных пород следует учитывать при создании лесных культур и уходе за лесом. Примесь лиственных деревьев к хвойным в количестве 2 : 1 уменьшает опасность высокоинтенсивных пожаров.

Не покрытые лесом площади. Это земли единого государственного лесного фонда, не покрытые лесом, но предназначенные для его выращивания (лесосеки, гари, редины, прогалины, пустыри и т. п.). В лесах влажность подстилки под пологом леса и мохово-лишайникового покрова летом, в конце непродолжительных бездождевых периодов (от 7 до 10 дней) обычно в 3–4 раза выше, чем на соседних сплошных вырубках.

Оценка пожарной опасности по лесорастительным условиям. Для оценки пожарной опасности по лесорастительным условиям определяют:

- ✓ тип леса;
- ✓ структуру насаждений;
- ✓ породный состав;
- ✓ возраст;
- ✓ тип лесных площадей;
- ✓ тип вырубок.

Поскольку эта шкала учитывает в основном природные особенности лесов, то пожароопасность лесных территорий, которую оценивают по этой шкале, называют *природной*. Шкала в конце 60-х гг. XX в. включена в *инструкцию по устройству лесного фонда* (табл. 3.7).

С помощью данной шкалы на территории лесничеств различают *пожарные выделы*, каждый из которых объединяет ряд таксационных выделов, имеющих одинаковую потенциальную горимость. На пожарной карте выделы раскрашивают различными цветами: I – красным; II – оранжевый, III – желтый, IV – зеленый; V – синий (рис. 3.6). Карта является основой для планирования и осуществления противопожарных мероприятий.

Таблица 3.7

Шкала оценки пожарной опасности в лесах*

Класс пожарной опасности	Объект загорания (характерные типы леса и типы вырубок, насаждений, безлесные территории)	Наиболее вероятные виды пожаров, условия и продолжительность периода их возможного возникновения и распространения
I	Хвойные молодняки. Сплошные вырубки: лишайниковые, вересковые, вейниковые и другие типы вырубков по суходолам (особенно захламленные). Сосняки лишайниковые и верещатники. Расстроенные, отмирающие и сильноповрежденные древостои (сухостойники, участки бурелома и ветровала, недорубы), участки условно-сплошных и интенсивных выборочных рубков. Захламленные гари	В течение всего пожароопасного сезона возможны низовые пожары, а на участках с наличием древостоя – верховые. На вейниковых и других травяных типах вырубков по суходолу особенно значительна пожарная опасность весной, а в некоторых районах и осенью
II	Сосняки-брусничники, особенно с наличием соснового подроста или подлеска из можжевельника выше средней густоты. Лиственничники кедровостланиковые	Низовые пожары возможны в течение всего пожароопасного сезона; верховые – в периоды пожарных максимумов
III	Сосняки – кисличники и черничники. Лиственничники-брусничники. Кедровники всех типов, кроме приручейных и сфагновых. Ельники – брусничники и кисличники	Низовые и верховые пожары возможны в период летнего пожарного максимума, а в кедровниках, кроме того, в периоды весеннего и, особенно, осеннего максимумов
IV	Сплошные вырубки таволговых и долгомошниковых типов (особенно захламленные). Сосняки, лиственничники и насаждения лиственных пород травяных типов. Сосняки и ельники сложные, липняковые, лещиновые, дубняковые. Ельники-черничники. Сосняки – сфагновые и долгомошниковые. Кедровники – прирученные и сфагновые. Березняки – брусничники, кисличники, черничники и сфагновые. Осинники – кисличники и черничники. Мари.	Возникновение пожаров (в первую очередь низовых) возможно в травяных типах леса и на таволговых вырубках в периоды весеннего и осеннего пожарных максимумов, в остальных типах леса и на долгомошниковых вырубках – в период летнего максимума
V	Ельники, березняки и осинники-долгомошники. Ельники сфагновые и прирученные. Ольшаники всех типов	Возникновение пожара возможно только при особо неблагоприятных условиях (длительная засуха)

*Примечания:

1. Пожарная опасность устанавливается на класс выше:

а) для хвойных насаждений, строение или другие особенности которых способствуют переходу низового пожара в верховой (густой высокий подрост хвойных, значительная захламленность и т. п.);

б) для небольших участков леса на суходолах, окруженных площадями с повышенной

горимостью;

с) для лесных участков, примыкающих к дорогам общего пользования, железным дорогам на паровозной тяге или расположенных в непосредственной близости от огнедействующих лесных предприятий.

2. Кедровники с наличием густого подроста или разновозрастные с вертикальной сомкнутостью полога относятся ко II классу пожарной опасности.

На пирологической карте лесхоза пожарный выдел соответствует лесному кварталу. Класс пожарной опасности квартала (K_{cp}) определяют как средневзвешенную величину по формуле:

$$K_{cp} = \frac{K_1 S_1 + K_2 S_2 + \dots + K_n S_n}{S},$$

где K_1, K_2, K_n – классы пожарной опасности соответствующих выделов; S_1, S_2, S_n – площади соответствующих выделов, га.



Рис. 3.6. Карта-схема пожарной опасности
(<http://vladimir20.ru/tag/%D0%BC%D1%87%D1%81>)

Оценка пожарной опасности хвойных насаждений адекватна только для сезонов, когда погодные условия находятся в пределах обычных климатических норм.

В настоящее время класс пожарной опасности лесных участков устанавливают не только по природному фактору, но также по близости источников огня и возможных послепожарных последствий. В лесоустроительной инструкции это указано в примечании.

Таким образом, класс пожарной опасности – это интегрированная оценка, зависящая от 1) характера леса; 2) близости к источникам огня; 3) вероятных послепожарных последствий.

3.4.4. Влияние рельефа на лесные пожары

В России большие площади лесов расположены в горной местности. Пожарная опасность в горных лесах зависит от ряда факторов, среди которых выделяют *экспозицию и крутизну склонов*.

При борьбе с лесными пожарами в горах необходимо учитывать тот факт, что из-за нагрева склонов солнцем локальные течения воздуха направлены вверх. Это ускоряет продвижение пожара и создает предпосылки для переброса огня в кроны деревьев. Ночью наблюдается обратное движение: холодный воздух стекает вниз по распадкам, задерживая распространение огня и резко снижая его интенсивность. Вниз по склону пожар продвигается медленно, но иногда происходит скатывание горящих частей горючего материала (шишки, головешки) и в результате образуются новые очаги горения.

Влияние рельефа на пожароопасность лесных насаждений состоит также в изменении местных погодных условий и микроклимата склонов. Высокой пожарной опасностью отличаются склоны южной и западной экспозиций. Это связано с интенсивным нагревом их солнцем. В результате снижается влажность горючих материалов и усиливаются восходящие потоки воздуха. Кроме того, растительность здесь представлена более пожароопасными видами. По северным и восточным склонам вероятность возникновения загораний меньше. В отдельных случаях в весенний период они вообще не пожароопасны.

Усиление турбулентности приводит к тому, что продвижение огня на коротких склонах становится более медленным и беспорядочным, чем на длинных пологих склонах.

3.4.5. Классы пожарной опасности по условиям погоды

Метеорологические факторы играют важную роль в каждой стадии пожара – от его возникновения до момента ликвидации огня. Наиболее изменчивым компонентом является воздушная масса, окружающая горючие материалы. Среди основных характеристик воздушной массы, имеющих преобладающее влияние на протекание пожара, отмечают *влажность, температуру, ветер, неустойчивость*. Исследования показывают, что уменьшение влажности воздуха до 30–25 % вызывает переход низового огня в кроны, переносит горящие угли, образует новые очаги горения. Ветер влияет на скорость «пожарного созревания» лесных площадей, поскольку ускоряет испарение влаги, снабжает кислородом зону горения. Ветер увеличивает количество тепла, выделяющегося в единицу времени, в 6–25 раз при одинаковой влажности растений в различных типах леса, а ширину горящей кромки в 3–12 раз.

Неустойчивость, неустойчивость воздушной массы, сопровождаемая шквалами, настолько может усилить пожар, что борьба с ним становится невозможной. Направление ветра может смениться на 90° и растянутый фланг может стать широким фронтом пожара.

Прогнозирование пожарной опасности в лесу может базироваться на метеопрогнозе погоды и зависит от его точности.

Однако надо знать, что крупные лесные пожары и сами оказывают влияние на погодные условия. Задымление территории снижает степень инсоляции. Нижние слои воздуха становятся холодными, а верхние – напротив разогреваются, что приводит к образованию вихрей над пожаром. В 4 раза учащаются загорания лесов от молний, поскольку частицы сажи имеют большую электропроводность, чем воздух. Разряды «облако-земля» чаще всего отмечаются перед фронтом пожаров. Над задымленными районами иногда длительное время отсутствует облачность, а выпадение осадков задерживается на 5–8 дней по сравнению с территориями, где нет дыма. Все это в совокупности способствует увеличению площади возгорания.

Влияние влажности воздуха. В воздухе всегда присутствует влага в виде водяных паров. Количество влаги, содержащееся в воздухе, отражается на влагосодержании горючих материалов. Днем воздух обычно суше, чем ночью. Поэтому ночью пожары обычно распространяются медленно, так как горючие материалы поглощают влагу из более сырого ночного воздуха. Поглощение влаги горючим материалом, дующие вниз по склону ветры, более низкая ночная температура, а также другие элементы ночной погоды обычно облегчают работу пожарных. Поэтому пожары, которые вышли из-под контроля в дневное время, удастся потушить ночью или ограничить их распространение.

Влияние суточного цикла развития лесного пожара примерно следующий: *максимальная интенсивность горения с 9 до 21 ч (тушить очень трудно); снижение интенсивности горения с 21 до 4 ч (эффективность тушения повышается); слабая интенсивность горения с 4 до 6 ч (в основном беспламенное горение).* Это самое лучшее время суток для тушения; *увеличение интенсивности горения с 6 до 9 ч (хорошее время для тушения).*

Температура воздуха при тушении пожаров является одним из основных факторов. Известно, что нагретый на солнце горючий материал теряет влагу и горит быстрее, чем при отсутствии прогрева. Температура поверхности почвы влияет также на движение воздушных потоков. Она непосредственно воздействует и на пожарных, затрудняя их работу.

3.4.6. Методы оценки пожарной опасности

Методы оценки пожарной опасности в Российской Федерации. В настоящее время для оценки пожарной опасности в лесу по условиям погоды используют *комплексный показатель горимости (КПО_Н)* В. Г. Нестерова. Показатель Нестерова отражает баланс иссушающих и увлажняющих природных факторов.

В зависимости от величины комплексного показателя различают пять классов пожарной опасности (табл. 3.8). *Показатель пожарной опасности* или *класс пожарной опасности* – *КПО* в лесу по условиям погоды определяют на 12–14 ч местного времени, как сумму произведения температуры воздуха (t , °C) на разность температур воздуха и температуры точки росы (η) за количество (n) дней без дождя:

$$КПО_{\text{н}} = \sum_1^n [t(t - \eta)].$$

Таблица 3.8

Шкала классов пожарной опасности*

Класс пожарной опасности (КПО)	Комплексный показатель горимости (КПО _н)	Пожарная опасность
I	0–300	Отсутствует
II	301–1000	Малая
III	1001–4000	Средняя
IV	4001–10000	Высокая
V	Более 10001	Чрезвычайная

*Примечание. Во многих регионах, в соответствии с методикой составления шкал КПО, разработаны и применяются местные шкалы пожарной опасности, учитывающие сезонность горимости и ее зависимость от величины комплексного показателя, т. е. имеются другие величины комплексных показателей, определяющих границы КПО.

При I классе пожарной опасности большинство источников огня пожаров не вызывает, хотя возможны пожары от источников высоких температур и молний (при сухих грозах). Возникшие и действующие пожары распространяются медленно, неравномерно или прекращают действовать.

При II классе пожарной опасности пожары могут возникать от сильных источников огня, однако количество загораний невелико. Скорость распространения огня незначительна.

При III классе пожарной опасности большинство источников огня приводит к возникновению лесных пожаров. Пожары интенсивны, выделяют большое количество тепла, быстро распространяются и создают дополнительные мелкие очаги.

При IV классе пожарной опасности пожары возникают даже от незначительных источников огня, быстро распространяются и создают дополнительные мелкие очаги.

При V классе пожарной опасности пожары возникают от любого источника огня и высоких температур. Горение происходит весьма интенсивно и огонь быстро распространяется.

Порядок расчета комплексного показателя показан на примере данных метеостанции, полученных на 9 ч утра по количеству осадков и на 13 ч по температуре воздуха (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Показатели погодных условий по данным метеостанции

Дата	Количество осадков, мм	Температура воздуха, °С	Разность между значениями температуры и точки росы
5/VI	Более 5	14,8	2,5
6/VI	Осадков не было	24,9	2,9

Дата	Количество осадков, мм	Температура воздуха, °С	Разность между значениями температуры и точки росы
7/VI	То же	27,8	20,0
9/VI	То же	28,1	20,5

При этих данных комплексные показатели будут следующими:

на 5/VI $14,8 \cdot 2,5 = 37,0$;

на 6/VI $(24,9 \cdot 2,9) + 37,0 = 109,2$;

на 8/VI $(27,8 \cdot 20,0) + 109,2 = 665,2$;

на 9/VI $(28,1 \cdot 20,5) + 638,3 = 1241,3$.

При комплексном показателе пожарной опасности равном 1241,3 пожарная опасность средняя.

После дня выпадения осадков $>2,5$ мм расчет КПО_н начинается вновь. При этом учитывают только обложные и фронтальные осадки, выпадающие на больших площадях. Осадки ливневого характера не учитывают, так как они покрывают незначительные площади. Точность определения класса пожарной опасности по шкале В. Г. Нестерова будет тем выше, чем равномернее будут расположены на охраняемой территории метеостанции, так как достоверность метеоданных подтверждается в радиусе около 25 км (в равнинной местности) от пункта наблюдения.

Приведенная шкала классов пожарной опасности является стандартной для всего лесного фонда РФ. В отдельных регионах применяют местные шкалы пожарной опасности, разработанные исходя из комплексных показателей и соответствующей им фактической горимости лесов конкретного региона.

Местные шкалы пожарной опасности. Шкала В. Г. Нестерова разработана для условий Европейской части лесной зоны и не может учесть всего разнообразия лесорастительных и климатических условий, которые определяют пожарную опасность в других регионах территории лесного фонда РФ.

В европейской части лесной зоны кривая среднегодового количества лесных пожаров плавно поднимается, начиная с наступления пожароопасного сезона (апрель-май) и достигает своего максимума в конце июня, а затем падает и достигает минимума в сентябре-начале октября. Если рассматривать, например, южную часть Восточной Сибири или Дальнего Востока – Приморский край, южную часть Хабаровского края и Амурской области, то на данных территориях пожароопасный сезон имеет два максимума: один в конце мая – начале июня и второй в конце августа – начале сентября.

Если для этих территорий применять стандартную шкалу, то в летний период, когда пожаров практически не бывает, пожарная опасность по шкале будет высокой, в то же время весной, когда возникает большое количество пожаров, рассчитанная по данной шкале опасность пожаров будет низкой. Следовательно, необходима шкала, комплексные показатели которой учитывали бы эти особенности, т. е. необходима местная шкала, отражающая фактическую горимость.

Для создания местных шкал необходимо иметь данные за последние 10 лет комплексного показателя по дням, когда возникали лесные пожары. Для этого лучше всего использовать «Дневник пожарной опасности погоды», в котором на каждый день по месяцам пожароопасного сезона по данным одной или двух метеостанций рассчитывают комплексный показатель и отмечают количество лесных пожаров, возникших за один день.

Затем строят график, на котором по оси ординат располагают значение комплексного показателя, а по оси абсцисс – дни по месяцам пожароопасного сезона. На график наносят все лесные пожары за 10 лет. Точка, отмечающая пожар, находится на пересечении линий числового значения комплексного показателя, при котором возник пожар и дня месяца пожара. На таком графике нанесено несколько сот или тысяч лесных пожаров.

Исследования распределения лесных пожаров по классам пожарной опасности показывают, что обычным является следующее распределение: при первом классе может возникать (допускается) до 3 % случаев лесных пожаров, при втором – до 20 %, при третьем – до 45 %, при четвертом – до 75 % и при пятом 100 % всех лесных пожаров.

Для того чтобы определить величину комплексного показателя и установить границу класса пожарной опасности делают следующее: параллельно горизонтальной оси отсчитывают количество точек, составляющее 3 % пожаров от нанесенных на график, проводят параллельную к горизонтальной оси линию до пересечения с вертикальной, на которой читают значение комплексного показателя верхней границы первого класса пожарной опасности. Таким же способом отсчитывают 2055 точек и определяют показатель верхней границы второго класса, затем 45 % и 75 % и определяют показатели границы третьего и четвертого класса.

Местные шкалы могут быть разработаны для лесорастительных зон и периодов пожароопасного сезона (весны, лета, осени), связанными с фазами вегетации. Такие шкалы могут иметь свои поправки на осадки, ветер, другие факторы погоды, отличающиеся от тех, которые учитывают в стандартной шкале.

Определение пожарной опасности по показателям влажности ПВ-1 и ПВ-2. Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства для оценки текущей пожарной опасности в лесу рекомендовал местные шкалы для лесхозов на основе показателей влажности покрова (ПВ-1) и влажности подстилки (ПВ-2).

Метод основан на оценке влажности напочвенного покрова, подстилки под ним и верхнего слоя торфа в лесах различных типов. Он позволяет определить возможность возникновения не только низовых и почвенных-подстилочно-гумусовых, но и торфяных (подземных) пожаров, т. е. прогнозировать условия, когда огонь не только распространяется по площади, но и начинает заглубляться в подстилку и торф. Для расчета показателей ПВ-1 и ПВ-2 используют данные метеослужб, как и в расчетах по стандартной шкале В. Г. Нестерова.

Отличие в расчетах этих показателей от комплексного показателя заключается в том, что для каждого из них разработана специальная таблица, в которой определены изменения значений ПВ-1 и ПВ-2 после осадков различной величины, и которые учитывают с применением специально установленного коэффициента.

В 1999 г. принят ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования» которого используют и в настоящее время. Данный стандарт основан на приведенном выше КПО Нестерова. Основные недостатки настоящего стандарта:

- ✓ игнорируется влияние факторов антропогенной нагрузки и грозовой активности;

- ✓ игнорируются реальные физико-химические механизмы сушки и зажигания слоя ЛГМ.

Для создания качественно иной системы оценки пожарной опасности требуется:

- ✓ сформулировать новую концепцию прогноза лесной пожарной опасности;

- ✓ разработать алгоритмы возникновения лесных пожаров от природных и антропогенных причин;

- ✓ разработать физико-математические модели зажигания ЛГМ в результате воздействия природного или антропогенного источников;

- ✓ разработать вероятностные критерии оценки лесной пожарной опасности с учетом статистических данных и результатов математического моделирования.

Методы оценки пожарной опасности в странах Америки, Европы и Азии. Наиболее совершенная в настоящее время система оценки пожарной опасности разработана в Канаде. Канадская методика прогнозирования лесной пожарной опасности построена с учетом анализа большого количества статистических данных и достаточно точно предсказывает пожарную опасность.

Министерство природных ресурсов Канады в настоящее время оперирует двумя национальными информационными системами для управления лесными пожарами:

- ✓ канадской информационной системой по лесным пожарам (Canadian Wildland Fire Information System – CWFIS)

- ✓ системой моделирования, мониторинга и картирования пожаров (Fire M3).

Обе системы включают компоненты канадской системы оценки лесной пожарной опасности (Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS) и используют «движок» системы пространственного управления пожарами (Spatial Fire Management System – sFMS) для получения, управления, моделирования, анализа и презентации данных. Метеорологические параметры с точечных источников измерений интерполируются для получения пространствен-

ной детализации ячеек в 1 км (сеть Канады и северной части США насчитывает около 900 метеорологических станций).

Канадская система CFFDRS состоит из двух основных модулей – Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System и Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. В рамках первого модуля FWI прогнозируется влагосодержание основных лесных горючих материалов в зависимости от погодных условий, а в рамках FBP – поведение очага пожара для различных лесных фитоценозов. Два других элемента оценки пожарной опасности (Accessory Fuel Moisture System и Canadian Forest Fire Occurrence Prediction (FOP) System) не разработаны для всей территории страны, но существуют региональные версии данных подсистем. Первая предназначена для оценки влагосодержания второстепенных ЛГМ, а вторая – для предсказания возгораний от антропогенной нагрузки и грозовой активности, суточного изменения индекса пожарной опасности.

Система sFMS для поддержки принятия решений по ликвидации лесных пожаров, которая может функционировать как самостоятельное приложение или интегрироваться в существующие информационные системы. sFMS преимущественно работает с текущей метеорологической информацией, чтобы подготовить дневные или почасовые карты пожарной опасности, поведения пожаров, вероятности зажигания. Система также используется с кратко- и долгосрочными климатическими прогнозами для предсказания влияния климатических изменений на уровень лесной пожарной опасности, выгоревшую площадь, потребление лесных горючих материалов и эмиссию парниковых газов. Систему можно использовать в различных масштабах – от локального до глобального.

Мониторинговый компонент Fire M3 использует спутниковые данные NOAA (AVHRR-advanced very high-resolution radiometer) с пространственным разрешением 1 км для обнаружения активных лесных пожаров. Компонент картирования предназначен для оценки выгоревшей площади. Моделирующие компоненты интегрируют данные системы CWFIS для оценки условий пожарной погоды, лесной пожарной опасности и возможного поведения пожара.

Выходные данные канадской национальной системы доступны через Интернет (сайт Канадской лесной службы <http://cfs.nrcan.gc.ca>). Канадскую методику используют в различном объеме в таких странах, как США, Новая Зеландия, Фиджи, Аргентина, Мексика, Индонезия, Малайзия. Система была успешно использована и в Финляндии, Швеции.

В США в 1972 г. была разработана методика оценки пожарной опасности на разных лесных территориях (National Fire Danger Rating System – NFDRS). Структура американской системы представляет собой абстрактную модель влияния различных факторов и условий на процесс возникновения и распространения пожаров. Система выдает четыре индекса:

- ✓ индекс возникновения пожара по вине человека (Man-caused fire occurrence index – MCOI);
- ✓ индекс возникновения пожара в результате грозовой активности

(Lightning-caused fire occurrence index – LOI);

- ✓ индекс горения (Burning index – BI);

- ✓ индекс пожарной нагрузки (Fire load index – FLI).

Индексы MCOI и LOI определяют с учетом компонента воспламенения (Ignition component – IC), что позволяет оценить ожидаемое число лесных пожаров. Все лесные горючие материалы разделены на типовые модели. В систему введены ряд пирологических характеристик лесных горючих материалов, которые позволяют косвенно учитывать процесс зажигания. Итоговую оценку пожарной опасности (FLI) определяют в зависимости от значений индексов MCOI, LOI и BI по 100-балльной шкале. В системе используют большое количество поправок, которые получены на основе эмпирических данных. Результаты, основанные на расчетах в рамках NFDRS, используют в системе оценки лесных пожаров (Wildland Fire Assessment System – WFAS). Некоторые результаты доступны в сети Интернет (официальный сайт <http://www.wfas.net>).

В 2000 г. было проведено сравнительное исследование различных методов прогноза лесной пожарной опасности, разработанных в Южной Европе. Все методы представляют численный индекс, который растет с увеличением опасных условий.

Методы оценки пожарной опасности, принятые в странах Южной Европы, в основе которых лежат метеорологические факторы, были протестированы с использованием статистических данных за интервалы времени от 3 до 9 лет. Кроме методов, принятых во Франции, Италии, Португалии и Испании, в сравнительный анализ был включен и канадский метод. Для каждой области имелись ежедневные значения числа пожаров и выгоревшей площади, которые зависели не только от метеорологических параметров. Считалось, что дополнительные факторы (особенно антропогенная нагрузка) не оказывают взаимного влияния. Канадский метод и модифицированный метод Нестерова (Португалия) показали наилучшие общие эксплуатационные качества.

Впоследствии была разработана так называемая Европейская система – European Forest Fire Risk Forecasting System (EFFRFS). Основу системы составили методы, разработанные в Италии, Франции, Испании, Португалии и канадский метод в совокупности. В настоящее время применяется модификация Европейской системы, которая дополнительно учитывает данные со спутников и называется European Forest Fire Information System (EFFIS). Для сравнения все индексы приведены к 100-балльной шкале.

В последние годы канадскую систему применяют в некоторых странах Западной Европы. Результаты работы системы также доступны в сети Интернет (официальный сайт <http://effis.jrc.ec.europa.eu>). Поскольку качественный компонент представлен канадским методом, то преимущества и недостатки европейской системы аналогичны североамериканским. Канадская и американская системы похожи в своей структуре, в подходах и принципах построения индекса пожарной опасности. Поэтому обе они имеют одинаковые достоинства

и недостатки. Основное достоинство – учет антропогенной нагрузки, грозовой активности и долговременная эксплуатация в реальных условиях.

Основной недостаток этих методов заключается в том, что не моделируются явления сушки и зажигания слоя лесных горючих материалов с учетом физико-химических процессов.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные причины возникновения лесных пожаров а) естественного происхождения, б) искусственного (техногенного, антропогенного).

2. Перечислите фазы горения лесных горючих материалов.

3. Перечислите основные процессы, способствующие распространению горения.

4. Какие факторы способствуют формированию конвекционных потоков?

5. Какие факторы определяют количество тепловой энергии, необходимой для возгорания лесных материалов?

6. Наиболее полно тепловая энергия используется внутри или на поверхности горящего материала?

7. Может ли гореть торф при влагосодержании, составляющем 400 %?

8. Чем определяется структура слоя горючего материала?

9. Как расстояние между частицами горючего материала сказывается на процессе горения?

10. По каким признакам лесные горючие материалы разделены на активные и пассивные?

11. Дайте определение лесному пожару.

12. Какие элементы пожара Вы знаете? Что они означают?

13. Чем низовые пожары отличаются от верховых?

14. В какое время года возникают низовые пожары, и чем они обусловлены?

15. В какое время года возникают верховые пожары, и чем они обусловлены?

16. Чем опасны почвенные пожары? Торфяные пожары?

17. Какие классы сложения лесных горючих материалов Вы знаете?

18. На сколько классов разделены лесные горючие материалы по признаку плотности сложения?

19. При каком классе сложения скорость распространения огня максимальна? Минимальна?

20. Оказывают ли влияние на величину энергии активации возгорания или теплотворную способность эфирные масла и смолы древесины, хвои?

21. От чего зависит величина теплотворной способности горючего материала – от концентрации смол и эфирных масел, от химического строения компонентов смол или от элементного состава древесины?

22. Какое влияние на процесс горения оказывают неорганические вещества растений?

23. Чем отличаются друг от друга следующие характеристики растительных материалов: влажность и влагосодержание?

24. Какие типы лесов наиболее пожароопасны: светлохвойные, темнохвойные или лиственные? Ответ обосновать.

25. Как рельеф местности влияет на пожароопасность лесов?

26. На сколько классов разделена природная шкала пожароопасности, почему?

27. Что такое «пожарные выделы», и по каким признакам их выделяют?

28. Как и для чего используется пирологическая карта лесной территории?

29. Какой показатель рассчитывают по формуле:

$$K_{cp} = \frac{K_1 S_1 + K_2 S_2 + \dots + K_n S_n}{S}$$

30. Какие факторы кроме природного учитывают в настоящее время при установлении класса пожарной опасности лесной территории?

31. Зависит ли интенсивность горения от времени суток? Если да, то как?

32. Для каких целей используют комплексный показатель горимости?

33. Как рассчитывают комплексный показатель горимости?

34. Сколько классов в шкале пожарной опасности, построенной на основе величины комплексного показателя горимости?

35. В чем заключается принципиальное отличие шкалы пожарной опасности, рассчитанной по показателям влажности лесного покрова или лесной подстилки от шкалы, построенной на основе величины комплексного показателя горимости Нестерова?

36. Охарактеризуйте системы оценки пожарной опасности в Канаде, США и Европе.

37. Назовите основные отличия методики оценки пожарной опасности в России от системы оценки пожарной опасности Канады.

4. Охрана лесов от пожаров.

Предупредительные и подготовительные меры предотвращения и ограничения распространения пожаров

4.1. Государственная лесная охрана: задачи и документы, регламентирующие организацию работ по охране лесов от пожаров

Государственная лесная охрана Российской Федерации (ГЛО РФ) создана в Федеральном органе исполнительной власти по надзору в сфере природопользования в декабре 2004 г.

Основные задачи ГЛО РФ: обеспечивать охрану и защиту лесов, осуществлять государственный контроль за состоянием, использованием, охраной, защитой лесного фонда и воспроизводством лесов, а также за организацией пользования лесным фондом.

Работники государственной лесной охраны должны руководствоваться нормативными материалами, обязаны знать и выполнять требования положений, правил, инструкций, касающихся вопросов охраны лесов от пожаров.

Основные документы, которые регламентируют организацию охраны лесов от пожаров:

- ✓ Лесной кодекс Российской Федерации;
- ✓ Положение о государственной лесной охране Российской Федерации;
- ✓ Правила пожарной безопасности в лесах Российской Федерации;
- ✓ Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб;
- ✓ Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров;
- ✓ Инструкция по авиационной охране лесов.

4.2. Виды работ и документов по противопожарному обустройству лесов

Противопожарное устройство лесов должно учитывать конкретные природные особенности территорий и степень их хозяйственной освоенности, а материалы, включающие систему противопожарных мер необходимо разрабатывать для решения стратегических и тактических задач. Разрабатывают следующие документы:

- ✓ *генеральные планы противопожарного устройства лесов;*
- ✓ *технические проекты противопожарного устройства леса;*
- ✓ *рабочие проекты.*

Разработку генеральных планов, технических проектов, рабочих проектов противопожарного устройства лесов и выполнение других проектно-изыскательских работ проводят проектно-изыскательские организации по договору с Агентствами лесного хозяйства субъектов Федерации.

Генеральные планы противопожарного устройства лесов разрабатывают на 10–15 лет вперед. В генеральных планах противопожарного устройства лесов учитывают следующее:

- ✓ характеристику территории лесного фонда по степени природной пожарной опасности;
- ✓ горимость лесов области (края, республики);
- ✓ степень готовности наземной и авиационной служб охраны лесов;
- ✓ лесопожарное районирование территории лесного фонда области, края, республики;
- ✓ деление территории на районы преимущественного применения наземной или авиационной охраны лесов.
- ✓ проект по противопожарному устройству лесов, включающий меры по снижению степени пожарной опасности лесов, предупреждению возникновения лесных пожаров, организации дозорной службы и службы тушения лесных пожаров, организации связи, дорожного и производственного строительства;
- ✓ объемы и стоимость проектируемых объектов и работ по охране лесов.

Материалы генерального плана состоят из *пояснительных записок, картографического материала* для каждой организации, производства и *сводной карты* противопожарных мер по области (краю, республике).

Генеральный план является технико-экономическим обоснованием *технического проекта противопожарного устройства леса*, который разрабатывают, в первую очередь, для зоны интенсивного лесного хозяйства, имеющей лесной фонд высокой пожарной опасности.

Основное *назначение технических проектов* – разработка системы и технологии конкретных лесохозяйственных и организационных действий, которые должны внедряться в производство в короткие сроки (1–3 года). Материалы технических проектов должны использоваться при решении тактических задач по охране лесов от пожаров и при организации их тушения.

Разрабатываемые технические проекты отличаются от генеральных планов противопожарного устройства лесов:

- ✓ *по составу рабочих материалов*: в состав технического проекта входят пояснительная записка, сметные расчеты, расчетно-технологические карты и картографический материал для каждого лесничества и в целом по лесхозу; генеральный план должен содержать пояснительную записку и укрупненные сметные расчеты в целом по лесхозу и области (краю);
- ✓ *по масштабу картографического материала*: в техническом проекте карты каждого лесничества изготавливают в масштабе (1:25 000), сводная карта по лесхозу – в масштабе 1:25 000 или 1:50 000 в зависимости от общей площади лесхоза; обзорные карты – в масштабе 1:100 000 или 1:200 000; по лесхозу – в масштабе 1:100 000–1:200 000 и сводная карта по области в масштабе 1:300 000–1:500 000; в генплане карты по лесничествам не дают;
- ✓ *по степени детализации рабочих материалов*: в техническом проекте характеристику территории лесного фонда по степени природной пожарной

опасности дают по выделам, в генеральном плане – среднюю по кварталу; в проектах введены элементы пожарной технологической характеристики лесных площадей, в генплан эти показатели не вводят; в проектах по каждому лесничеству и в целом по лесхозу определяют районы, зоны и отдельные места для организации отдыха, безопасного для лесов; для каждого места отдыха дают типовые или индивидуальные проекты малых архитектурных форм лесной мебели и строений; в генеральных планах определяют, как правило, только районы и, реже, зоны отдыха; конкретные места отдыха и проект их обустройства не указывают; в проектах разрабатывают систему противопожарных барьеров различной конструкции и указывают конкретную лесохозяйственную технологию их создания; в генеральных планах указывают только протяженность барьеров и направления их трасс.

Рабочие проекты (РП) разрабатывают для дальнейшей детализации и внедрения в производство разработок, намеченных в генеральных планах и технических проектах. РП привязывают к конкретным условиям местности, учитывают все особенности данного лесного объекта. Например, строительство дороги противопожарного назначения, пожарного водоема или вертолетной площадки в одном лесничестве, как правило, имеет свои особенности, присущие только данным природным или хозяйственным условиям, и по деталям будет отличаться от таких же объектов в другом лесничестве. РП могут являться составной частью генерального плана или проекта или разрабатываться отдельно, по мере необходимости осуществления генерального плана.

Строительство зданий и различных сооружений производственного или бытового назначения для целей охраны лесов от пожаров осуществляют по типовым или индивидуальным проектам. Например, разработаны и действуют типовые проекты зданий пожарно-химических станций, производственных и жилых помещений для подразделений авиационной охраны лесов, пожарно-наблюдательных вышек и пунктов различной высоты, конструкции и материалы для создания малых архитектурных форм для обустройства мест отдыха и т. д.

4.3. Противопожарная профилактика

До последнего времени в России и в ряде стран Европы, Северной Америки, Австралии существовали две концепции сохранения лесных биоценозов:

- ✓ концепция «самоотмирания» проблемы лесных пожаров с развитием самосознания и степени образованности человечества;
- ✓ концепция необходимости полного исключения огня из жизни лесных биоценозов.

Однако ни первая, ни вторая концепции себя не оправдали.

С одной стороны, в настоящее время наблюдается резкое обострение пожарной обстановки во всех странах. Часто леса поджигают с целью получения прибыли. Кроме того, в России опасную пожарную обстановку усугубляют хозяйственное освоение новых территорий Севера, Сибири и Дальнего Востока,

усиление рекреационного использования лесов, сокращение сил и средств охраны лесов.

С другой стороны, интенсивная охрана лесов от пожаров в ряде случаев привела к накоплению лесных горючих материалов и усилению разрушительного действия пожаров. Поэтому необходимость *профилактики* лесных пожаров весьма актуальна.

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации под *лесопожарной профилактикой* понимают всю совокупность мер, направленных на предупреждение возникновения, распространения, развития лесных пожаров и создание условий для борьбы с ними.

Меры, принимаемые для профилактики лесных пожаров:

- ✓ *предупреждение* возникновения лесных пожаров, осуществляют посредством проведения противопожарной пропаганды, организации лесной рекреации и государственного пожарного надзора за соблюдением требований пожарной безопасности;

- ✓ *ограничение* распространения лесных пожаров заключается в повышении пожарной устойчивости насаждений, которое осуществляют посредством регулирования состава древостоев, санитарных рубок, очистки леса от лесосечной и внелесосечной захламленности, создания системы противопожарных барьеров, в том числе строительства дорог;

- ✓ *организационно-технические противопожарные меры* осуществляют посредством разработки оперативных планов охраны лесов от пожаров; подготовки территории лесхоза к авиационной охране; профилактического выжигания горючих материалов; контроля готовности владельцев леса и арендаторов к пожароопасному сезону.

Лесхоз совместно с местным органом власти разрабатывает, утверждает и проводит определенные виды работ по противопожарной профилактике и пропаганде. Успех проведения противопожарной профилактики и противопожарной пропаганды зависит от уровня компетенции специалистов в этой области.

4.3.1. Меры предупреждения возникновения лесных пожаров

Поскольку в подавляющем большинстве случаев лесные пожары возникают из-за неосторожного обращения людей с огнем во время отдыха или выполнения работ, государственные органы управления лесным хозяйством должны обеспечить:

- ✓ широкое проведение лесопожарной пропаганды среди населения в населенных пунктах, общественном транспорте, местах выполнения работ и массового отдыха людей по соблюдению правил пожарной безопасности;

- ✓ организацию лесной рекреации в целях сокращения неорганизованного притока людей, обеспечения пожарной безопасности в местах отдыха;

- ✓ контроль за соблюдением требований пожарной безопасности в лесах, установление причин возникновения лесных пожаров, выявление нарушителей и виновников возникновения лесных пожаров.

Противопожарная пропаганда. Противопожарную пропаганду следует проводить для того, чтобы обеспечить выполнение требований пожарной безопасности в лесу и сформировать у населения знания о лесе, о взаимодействии человека с лесом, необходимости активных действий по охране леса.

Противопожарная пропаганда должна быть целенаправленной, оперативной, соответствовать времени года, обстановке, содержать конкретные факты, а печатные издания должны быть выразительными, привлекающими внимание и учитывать степень образованности или профессиональной принадлежности населения. Пропаганду необходимо проводить непрерывно в течение года и усиливать интенсивность пропаганды в периоды высокой пожарной опасности по условиям погоды. Для проведения этой работы нужно в первую очередь использовать средства массовой информации и средства массовых коммуникаций: печать, радио, телевидение, интернет и др.

Обычно в целях противопожарной пропаганды рекомендуют и используют такие формы как чтение докладов, лекций, проведение бесед с работниками учреждений, организаций в местах лесозаготовительных и других работ на темы о значении леса, о соблюдении требований пожарной безопасности в лесах.

Другой формой противопожарной пропаганды являются индивидуальные беседы с занятыми в лесу рабочими, с местным населением и с находящимися в лесу отдыхающими, туристами, экскурсантами.

Еще одна из действенных форм – это создание и демонстрация видеофильмов о вреде, наносимом лесными пожарами, причинах возникновения лесных пожаров и мерах борьбы с ними.

Важными формами являются также издание и распространение красочных листовок, буклетов, в том числе для детей, брошюр, книг и других видов печатной продукции, например, календарей различных форматов с призывами, напоминаниями, символами охраны лесов, создание музеев и выставок, вручение посетителям сувениров в виде календарей с лесной символикой, значков и другой продукции.

Обязательным считается также размещение у дорог, на участках проведения работ в лесу и в местах отдыха периодически обновляемых баннеров с объявлениями, предупреждающих о пожарной опасности в данное время, о необходимости заботливого отношения к лесам и др.

Важной формой предупреждения пожаров считают ежедневную передачу сведений о пожарной опасности в лесах одновременно с метеосводками и прогнозами по местному радио, телевидению и с помощью sms-рассылок в течение всего пожароопасного сезона.

Начиная с III класса пожарной опасности по условиям погоды – систематическая передача соответствующих предупреждений по местным радиотрансляционным сетям в населенных пунктах, пригородных поездах, автобусах, троллейбусах, на железнодорожных станциях, пристанях водного транспорта в лесных районах, а также с помощью звукоусилительных устройств при наземном и авиационном патрулировании.

Противопожарную пропаганду, разъяснительную и воспитательную работу среди населения можно проводить и в других формах. Успех любого выступления определяется профессиональностью выступающего. Важны владение предметом, естественность поведения, умение найти контакт с аудиторией. Умение убедить слушателей в необходимости бережного отношения к лесу и соблюдения требований правил пожарной безопасности в лесах. Излагаемый материал должен быть близок и понятен слушателям, при этом нужно исходить из рода их занятий и места проживания. В выступлениях по вопросам бережного отношения к лесу и недопущения лесных пожаров желательно отразить: значение леса в жизнеобеспечении населения конкретного региона и влияние леса на экологическую обстановку; факты и примеры нарушения требований Правил пожарной безопасности в лесу и их последствия. Важно не просто перечислить события и познакомить с правилами и законами, назвать величину потерь, но и уметь объяснить их причину. Говоря о конкретных нарушениях и их виновниках, основное внимание необходимо уделять размерам ущерба, нанесенного природе и людям, а не величине штрафных санкций и строгости наказаний.

Разъяснение требований «Правил пожарной безопасности в лесах» по наиболее часто повторяющимся нарушениям, которые связаны с основными видами занятий населения в данном районе. Например, в районах Восточной Сибири около 40–60 % лесных пожаров в весенний период возникает от сельскохозяйственных палов – выжигания старой травы на сенокосных и пастбищных угодьях, полях. Следовательно, при выступлении перед населением этих районов основное внимание необходимо уделить разъяснению «Правил пожарной безопасности в лесах», запрещающим выжигание травы и стерни (в том числе проведение сельскохозяйственных палов).

Сотрудники государственных органов управления лесным хозяйством для предупреждения пожаров должны требовать от руководителей организаций, учреждений, арендаторов и владельцев, которые проводят работы в лесу, или имеют объекты в лесной зоне (например, отели, кемпинги, оздоровительные учреждения), проведения инструктажа рабочих, служащих, отдыхающих по вопросам предупреждения лесных пожаров и способах их тушения.

Сотрудники государственных органов управления лесным хозяйством должны вовлекать население в дело охраны, восстановления и приумножения лесных богатств, способствовать организации лесных дозоров, постов, бригад, а также обеспечивать обучение населения способам предупреждения и тушения лесных пожаров с применением ручных орудий и имеющейся в лесхозах техники.

Лесная рекреация. Степень использования лесов для отдыха, проведения спортивных мероприятий, туризма, экскурсий возрастает с каждым годом. В связи с этим важной задачей по предупреждению лесных пожаров является проведение ряда работ, направленных на подготовку лесного фонда для организованного отдыха. Для этого рекомендуют передавать лесные участки в аренду для использования их в культурно-оздоровительных, туристских и спортивных

целях. Обязательным условием при этом является их благоустройство и обеспечение пожарной безопасности и сохранности на этих участках и прилегающих к ним площадях лесной растительности и других объектов. Выделенные участки должны быть обустроены отелями, кемпингами, мотелями, палатками, павильонами, беседками, оборудованы стоянками для машин, местами для курения, сбора мусора и другими жизненно необходимыми сооружениями. Участки должны охраняться.

Государственный пожарный надзор (контроль) за соблюдением требований пожарной безопасности. Лесхозы обязаны обеспечивать постоянный контроль за соблюдением правил пожарной безопасности в лесах. Лесхозы должны организовывать постоянное наблюдение и патрулирование в местах, где производят лесозаготовительные работы, а также на участках леса, наиболее часто посещаемые населением.

Патрулирование должно производиться по заранее запланированным маршрутам, с учетом оценки лесных участков по классам опасности возникновения в них пожаров, времени наибольшего притока в леса населения. В первую очередь необходимо патрулировать леса, отнесенные к I и II классам пожарной опасности.

Если комплексный показатель пожарной опасности (КПО_н) по условиям погоды увеличивается, то патрулированием необходимо охватывать участки, отнесенные к последующим классам пожарной опасности. У патрулирующих должны быть средства передвижения: самолет, вертолет, автомашина, мотоцикл, мопед, велосипед, мотолодка, катер, верховая лошадь и др., а также средства пожаротушения и средства связи.

В период высокой пожарной опасности по условиям погоды (IV класс и выше) у дорог при въездах в лес необходимо создавать контрольные посты для предупреждения водителей и населения о соблюдении правил пожарной безопасности при нахождении в лесу.

Если патрулирование леса проводится с борта самолета или вертолета, то предупреждение о возможности возникновения пожара и требования о прекращении нарушений можно проводить с помощью звукоусилительных установок.

При обнаружении нарушений правил пожарной безопасности в лесах работники лесной охраны обязаны принять меры, для прекращения нарушений, составить протокол по установленной форме и не позднее следующего дня передать его в лесничество или непосредственно лесхозу для привлечения виновников к ответственности о соответствии с Правилами пожарной безопасности в лесах Российской Федерации.

4.3.2. Меры по ограничению распространения лесных пожаров (противопожарное обустройство территории лесного фонда)

В области профилактики пожаров важное место занимают меры по повышению пожароустойчивости лесов, ограничению распространения пожаров и обеспечению успешного тушения загораний. Противопожарное устройство ле-

сов – это снижение пожарной опасности лесов и повышение их пожароустойчивости в результате ряда предпринимаемых мер: создание пожароустойчивых лесных культур, проведение рубок ухода, очистка леса от захламленности, создание водоемов, создание преград огню и др.

Регулирование состава древостоев. В «Указаниях по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб» указывается, что для снижения опасности формирования высокоинтенсивных верховых пожаров лесхозы обязаны регулировать состав хвойных насаждений *рубками ухода* за лесом с сохранением по всем ярусам древостоя равномерной примеси лиственных пород, поскольку наличие лиственных пород в хвойных массивах значительно уменьшает возникновение сильных лесных пожаров.

При восстановлении лесов не рекомендуется создавать чистые насаждения только из культур сосны обыкновенной или темнохвойных пород. Разделение подобных молодняков на пожарные блоки только с помощью минерализованных полос не всегда эффективны, поэтому необходимо разделять их насаждениями из лиственных пород.

Санитарные рубки. Необходимо регулярно производить *санитарные рубки* сухостойных и усыхающих деревьев и кустарников. Если санитарные рубки не могут быть проведены одновременно с рубками ухода, они должны назначаться в качестве самостоятельных работ.

Сплошные рубки назначают только после получения разрешения, выданного по результатам лесопатологического обследования. Разработку крупных территорий, которые требуют очистки (гари, шелкопрядники, ветровал и др.), выполняют таким образом, чтобы вначале вырубка деревьев была осуществлена на полосе шириной не менее 50 м, а в хвойных насаждениях, отнесенных к I и II классам пожарной опасности – не менее 100 м по границе со здоровыми массивами.

Большие участки лесных массивов необходимо делить на блоки по 25–30 га внутренними разрывами шириной 25 м, что значительно облегчает пожаротушение.

Очистка лесов от захламленности. Для снижения уровня пожарной опасности лесной территории необходимо вовремя производить ликвидацию внелесосечной захламленности. Подобная очистка, прежде всего, необходима в насаждениях высокой природной пожарной опасности, находящихся в освоенных районах. Это леса зеленых зон, хвойные молодняки, защитные полосы вблизи населенных пунктов и объектов, расположенных в лесу, противопожарные заслоны, расчленяющие массивы хвойных пород на блоки, насаждения, прилегающие к железным и автомобильным дорогам. В таких лесах разрастаются растения, типичные для открытых пространств: осока, крапива, вейник, борец.

Как и санитарные рубки, очистку леса от внелесосечной захламленности необходимо вести в ограниченных объемах, как правило, в местах массового отдыха и городских насаждений.

Противопожарные барьеры. Противопожарные барьеры – это участки территории, препятствующие распространению и разрастанию лесных пожаров. Барьеры могут быть естественного и искусственного происхождения. Действие барьеров основано на том, что на их поверхности горючие материалы либо отсутствуют, либо находятся в негорючем состоянии.

Различают 4 группы противопожарных барьеров:

- ✓ негоримые барьеры, на поверхности которых горючие материалы отсутствуют (водные преграды, каменистые россыпи, песчаные гряды, шоссе и др.);

- ✓ барьеры с ограниченным количеством горючего материала, которого недостаточно для поддержания горения (тропинки, лесные дороги, просеки и трелевочные волоки, очищенные от хлама, и т. д.);

- ✓ барьеры с горючими материалами низкой пожарной опасности (полосы из клевера, люпина, картофеля, обработанные замедлителями горения, участки лиственных и смешанных древостоев);

- ✓ сложные (комбинированные) барьеры – в их состав входят барьеры первых трех групп (пожароустойчивые опушки, противопожарные заслоны).

На территории государственного лесного фонда возводят противопожарные барьеры следующих типов:

- ✓ минерализованные полосы;
- ✓ противопожарные разрывы;
- ✓ заслоны и канавы;
- ✓ пожароустойчивые опушки;
- ✓ противопожарные водоемы.

Минерализованная полоса – это полоса шириной в 1,4–3 м, очищенная от лесных горючих материалов или образованная почвообрабатывающими орудиями до минерального слоя почвы. В ряде районов Сибири и Дальнего Востока минеральные полосы делают шириной до 10 м, что связано со специфическими лесорастительными условиями этих территорий (рис. 4.1). Это один из наиболее простых и часто используемых на практике видов барьеров. Они почти полностью задерживают продвижение тыла и фланговых частей кромки низовых пожаров, а в некоторых случаях даже фронт. Кроме того, они являются опорными линиями для применения отжига.

За минерализованными полосами необходим регулярный уход, только тогда они сыграют положительную роль. Для этого используют дисковые орудия, бороны, фрезы, культиваторы. На песчаных почвах и легких супесях уходы проводят в весеннее и летнее время. На богатых почвах, зарастающих травянистой растительностью, ухаживать за минеральными полосами можно только после прекращения роста травы, обычно это делают в конце лета.

Минерализованные полосы, подготовленные плугами, труднопроходимы для обычного транспорта и делают лес неблагоустроенным. Поэтому в лесах зеленых зон рекомендовано создавать вместо минерализованных полос сеть лесных дорог и тропинок.

Для предотвращения загорания лесов от сельскохозяйственных палов в условиях открытых мест и сильного ветра нужны широкие защитные полосы. С этой целью выжигают напочвенный покров между двумя плужными бороздами, нарезанными через 10 м. Такие же полосы создают посевом на обработанных площадях растений, не поддерживающих горение (картофель, люпин, гречиха).



Рис. 4.1. Минерализованная полоса в хвойном лесу
http://www.poozerie.ru/news/news_95.html

Противопожарные разрывы – специально созданные противопожарные барьеры в лесах в виде просек шириной 10–20 м, как правило, с дорогами, проходящими по ним или естественные водные артерии. Разрывы предназначены для остановки низовых пожаров и в качестве опорных линий для их тушения.

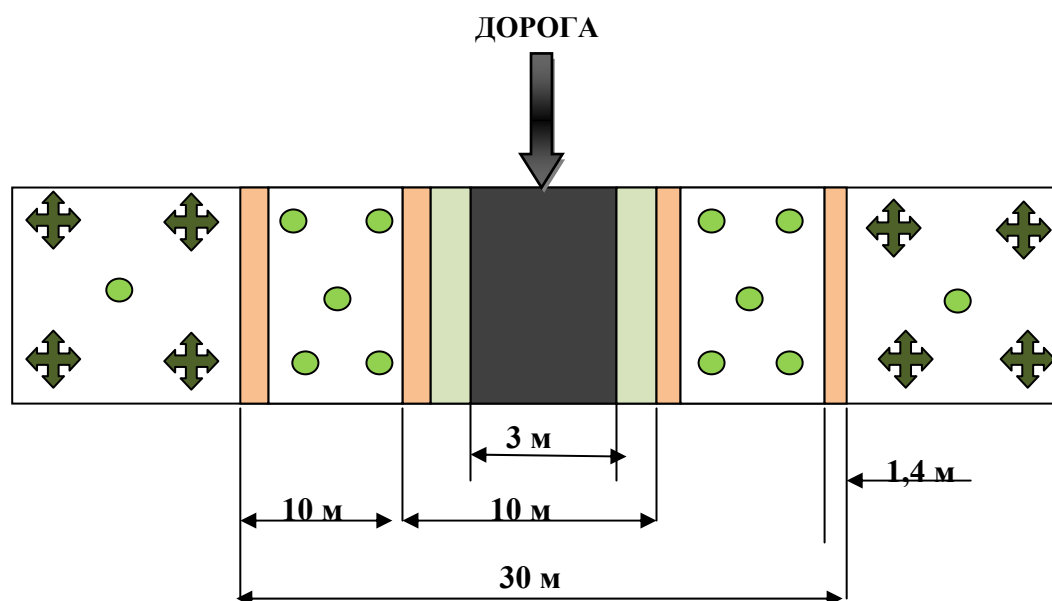
Чаще всего противопожарные разрывы устраивают путем расширения имеющихся дорог и троп и только при недостаточной густоте противопожарных разрывов прорубают новые просеки. Противопожарные разрывы периодически необходимо освобождать от поросли древесно-кустарниковых пород и подновлять их. Дороги должны поддерживаться в проезжем состоянии.

Однако не всегда широкие безлесные пространства (100 м и более) оказываются эффективными для остановки высокоинтенсивных верховых пожаров, поскольку широкие разрывы усиливают ветер.

Противопожарные заслоны. Создание большого количества широких безлесных пространств не везде возможно или целесообразно. Поэтому отечественные и зарубежные пирологи (Германия, Франция) рекомендуют устраивать *противопожарные заслоны*. Заслоны – это комбинированные барьеры в лесу, предназначенные для остановки *верховых пожаров*.

Как показали исследования, загорания перед фронтом пожара чаще происходят на расстоянии 100–200 м и реже на расстоянии 300 м и более. Следовательно, ширина заслона в 300 м достаточна. Заслоны состоят из разрыва в сочетании с полосами леса по обеим его сторонам, очищенным от наземных горючих материалов и расчлененных сетью минеральных полос. Этот вид барьеров

различной конструкции и ширины (от 30 до 320 м) разработан институтом Росгипролес (рис. 4.2).



Условные обозначения:


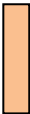


-  — обочина дороги, покрытая травяным покровом
-  — минерализованные полосы
-  — лиственные породы деревьев
-  — хвойные породы деревьев

Рис. 4.2. Устройство противопожарного заслона шириной 30 м в хвойных лесах

За основу заслона принимают естественный или искусственный разрыв (10–20 м) который может одновременно служить в качестве дороги. Вдоль разрыва с каждой стороны лиственных пород создают полосы шириной от 10 до 150 м (если древостой лиственный, заслон может быть без противопожарного разрыва); если это невозможно по лесорастительным условиям, то из хвойных пород — путем очистки полосы от древесного хлама, подроста и пожароопасного подлеска, с обрезкой нижних ветвей деревьев на высоту до 2 м. Вдоль разрыва через 20–30 м прокладывают минеральные полосы.

Действие заслонов основано на том, что огонь по пологу древостоя без поддержки низового пожара не может распространяться.

Пожарный блок – это участок леса, окруженный естественными (реки, озера, лиственные древостой) и искусственными противопожарными барьерами (в основном заслонами, разрывами в виде автомобильных и железных дорог, линий электропередач и т. п.).

Размер основных блоков может варьировать в пределах от 2 до 12 тыс. га. Ширина противопожарных заслонов, отграничивающих блоки, составляет 250–320 м. Наиболее пожароопасные хвойные насаждения внутри основных блоков разделяют в свою очередь на внутренние, площадью 400–1600 га, ширина заслонов 25–250 м. Большие участки хвойных молодняков в лесах I группы рекомендуется разбивать на блоки размером 25 га. Для этой цели предусматривают также устройство 20–30 метровых противопожарных заслонов.

Размер основных блоков в насаждениях высокой пожарной опасности должен быть уменьшен до 400–900 га, а расстояние между заслонами не должно превышать 2–3 км.

В настоящее время системы противопожарных барьеров – это рубежи для активной борьбы с пожарами, поскольку в связи с возможным конвекционным переносом горящих древесных частиц на 300–400 м и более ни один барьер не дает гарантии самостоятельного затухания пожаров.

Пожароустойчивые опушки. Этот вид барьеров представляет собой лиственные и смешанные насаждения, окружающие пожароопасные массивы хвойных лесов, лесные поселки, а также специально подготовленные полосы хвойных насаждений вокруг лесных поселков. Опушки формируют различными способами: рубками ухода за лесом, посадкой лесных культур, реконструкцией древостоев. Ширина опушки из лиственных пород вокруг населенных пунктов должна быть не менее 150 м.

Устройство пожароустойчивых опушек необходимо в регионах, где ежегодно возникает большое число крупных лесных пожаров. Если невозможно создать лиственные древостой или лесонасаждения с примесью лиственных пород, то в полосе хвойного лесного массива шириной 250–300 м, примыкающей к населенному пункту, рекомендуют полностью убрать весь хвойный подрост, пожароопасный подлесок, валежник и другие лесные горючие материалы, а у хвойных деревьев до высоты 2 м обрубить сучья. Кроме того, в таких полосах прокладывают минерализованные полосы через каждые 50 м.

Однако подобные работы в нашей стране практически не проводят. Часто хвойные леса подходят близко к лесным поселкам и населенным пунктам.

Противопожарные канавы. Канавы противопожарного назначения для защиты ценных пород лесов от перехода на них почвенных пожаров с соседних участков. Их необходимо прокладывать по границам торфяников. Сеть каналов должна быть замкнутой. Глубина канав достигает до минерального слоя почвы или обводненных слоев торфа (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Противопожарная канава

Строительство дорог противопожарного назначения. Эффективную наземную охрану лесов от пожаров можно обеспечить только при наличии сети дорог, позволяющей доставлять силы и средства пожаротушения на любой участок, где возможны загорания.

Все лесные дороги обычно подразделяют на *лесохозяйственные, лесовозные и противопожарные*. Лесохозяйственные дороги устраивают в освоенных лесах, где их используют для различных нужд лесного хозяйства. Значение лесовозных дорог непосредственно связано с эксплуатацией леса. Устройство противопожарных дорог технически несложно и заключается в корчевке пней, расчистке и профилировании проезжей части. Строительство их ведут с таким расчетом, чтобы в дальнейшем дороги могли быть использованы в качестве основы при создании сети противопожарных барьеров и опорных линий при тушении очагов горения.

Устройство противопожарных водоемов. Противопожарные водоемы могут быть естественного и искусственного происхождения – это источники воды в лесу, имеющие подъездные пути и площадки для забора воды пожарными автоцистернами, насосами, мотопомпами. Забор воды из водоема возможен только в случае, если уровень воды не превышает наибольшую геометрическую глубину всасывания. Для пожарных автоцистерн – 7 м, для переносных мотопомп – 3,5 м. На участках высокой пожарной опасности необходимо проводить строительство искусственных водоемов по типовым проектам (рис. 4.4) с устройством подъездных дорог. Эффективный запас воды должен быть не менее 100 м³ с восстановлением разового забора до 5 м³ через каждые 10–5 мин.

На торфяниках, как наиболее пожароопасных площадях, требуется самая густая сеть водоемов: один водоем на 70–80 га. При высокой горимости леса на каждые 500 га площади лесного фонда необходимо устраивать один водоем. Если горимость средняя, или малая – один водоем на 3000 га.



Рис. 4.4. Противопожарный водоем

Техника размещения противопожарных барьеров по лесной территории. Техника размещения элементов противопожарных барьеров зависит от географических особенностей местности.

В районах, где имеются широкие плоские водоразделы, противопожарные барьеры устраивают вдоль этих водоразделов.

Если на территории преобладают хребты или скалистые гребни с крутыми склонами, то транспортное освоение лесов осуществляют по долинам рек и ручьев. Противопожарные барьеры сооружают по нижним элементам рельефа.

Поскольку большинство крупных пожаров на юге Сибири распространяется по водоразделам и верхним частям склонов, противопожарные разрывы рекомендуют устраивать поперек водоразделов, т. е. поперек направлению движения пожаров, сочетая искусственно созданные разрывы с естественными препятствиями (долины рек, сырые лощины), которые также направлены поперек направлению движения пожаров.

Если на местности имеются длинные склоны с пологими участками (уклон менее 15°), то склоны необходимо расчленять на части, прокладывая по ним горизонтальные разрывы.

Противопожарное устройство заболоченных лесов имеют свою специфику. В этом случае наиболее эффективными в противопожарном отношении являются заслоны. Чтобы они не горели, ежегодно ранней весной проводят выжигание травяной ветоши.

В лесах, которые произрастают на торфяниках, по квартальным просекам прокладывают простейшие лесные дороги, ширина которых должна обеспечить проезд гусеничной техники.

4.3.3. Организационно-управленческая деятельность по обеспечению противопожарной безопасности

Под организационной деятельностью понимают такие виды работ, которые позволяют координировать работу всех противопожарных служб и служб, связанных с проведением работ в лесной зоне, а также местных органов власти

для того, чтобы обеспечить проведение всех противопожарных действий в надлежащем виде и в необходимые сроки. С этой целью проводят следующие работы:

- ✓ учреждения и организации, на которые возложена охрана лесов к пожароопасному сезону, разрабатывают и предоставляют на утверждение органам власти меры по профилактике пожаров, противопожарному обустройству территории и подготовке к пожароопасному сезону, оперативные планы борьбы с лесными пожарами (в планах предусматривают создание пожарных формирований из работников организаций, учреждений и населения, со средствами транспорта, противопожарного оборудования, их подготовку и порядок приведения их в готовность);

- ✓ в феврале-марте каждого года проводят совещания-семинары государственной и ведомственной охраны с участием представителей местных органов власти, организаций и учреждений по вопросам состояния охраны лесов и по ее улучшению;

- ✓ организуют подготовку руководителей тушения лесных пожаров из числа работников наземной и авиационной охраны лесов, имеющих профессиональную подготовку, опыт борьбы с лесными пожарами и умеющих работать с людьми;

- ✓ организуют учет естественных посадочных площадок для вертолетов и устройство временных площадок (площадки создаются возле контор лесхозов, лесничеств, лесной охраны, в местах расположения резервных команд, а также в лесных массивах с высокой пожарной опасностью);

- ✓ организуют устройство пунктов сосредоточения пожарного инвентаря (пункты находятся там, где создаются резервные пожарные формирования и где расположено местное население). Перечень пунктов согласуют с лесхозом и с авиоотделением;

- ✓ организуют связь и взаимодействие участков, лесничеств, наземной и авиационной охраны лесов;

- ✓ предусматривают организацию бесперебойной доставки продовольствия, питьевой воды и предоставление квалифицированной медицинской помощи.

- ✓ организации, на которые возложена охрана лесов, исходя из местных условий или складывающейся пожарной обстановки, оперативно вносят предложения органам власти о дополнительных, не предусмотренных «Правилами пожарной безопасности в лесах Российской Федерации» противопожарных требованиях;

- ✓ ранней весной и поздней осенью согласуют с органами власти разрешения на проведение контролируемого выжигания напочвенного покрова в целях предупреждения возникновения и распространения лесных пожаров;

- ✓ за 1–2 недели до установления класса пожарной опасности проводят контроль соблюдения требований пожарной безопасности организациями-лесопользователями или организациями, имеющими объекты в лесу.

5. Организация и способы обнаружения лесных пожаров

5.1. Организация обнаружения лесных пожаров

Лесные пожары обнаруживают следующими способами:

- ✓ посредством патрулирования лесов и наблюдения за лесными массивами с пожарных наблюдательных вышек, мачт, пунктов (визуальное и инструментальное);
- ✓ посредством авиационного патрулирования (визуальное и инструментальное);
- ✓ посредством аэрокосмического наблюдения и мониторинга – инструментальное наблюдение с искусственных спутников Земли METEOP, NOAA, TERRA AQUA, SPOT, LANDSAT (рис. 5.1).

Способ обнаружения загораний зависит от степени освоенности территории, рельефа, размеров лесных массивов.

5.1.1. Наземное патрулирование лесов

Патрулирование лесов проводят по маршрутам, установленным (запланированным) с учетом классов пожарной опасности насаждений, наличия источников огня и класса пожарной опасности по погодным условиям, а также других факторов, оказывающих влияние на возможность возникновения лесных пожаров.

Патрулирование проводят лесная охрана, пожарохозяйственная служба, механизированные отряды на автомашинах, мотоциклах, мопедах, велосипедах, мотолодках, катерах, на верховых лошадях и других средствах. При этом патрульная группа и лесник должны иметь подручные средства и набор средств для самостоятельной ликвидации обнаруженного пожара. Патрульные, как правило, обеспечиваются биноклями и средствами связи с лесничеством и лесхозом, и механизированным отрядом.

При обнаружении пожара патрульный немедленно приступает к тушению и докладывает по радио, с помощью телефона или другим способом в лесничество или ПХС, лесхоз, авиационное отделение, штаб пожаротушения который дает характеристику пожара, предполагаемую или установленную причину его возникновения, при необходимости запрашивает требующуюся помощь.

Место обнаружения пожара (его привязка к местности) дается по лесопожарной карте – схеме лесонасаждений с указанием квартала или по известным ориентирам. Протяженность патрульных маршрутов в зависимости от уровня пожарной опасности может быть различной.

В настоящее время при развитии мобильной связи эффективным способом обнаружения пожара может стать местное население.



Рис. 5.1. Карта лесных пожаров юга Красноярского края и Иркутской области в июне 2011 г.

5.1.2. Использование пожарно-наблюдательных вышек, мачт, пожарно-наблюдательных пунктов и современной наземной системы обнаружения пожаров «Лесной дозор»

Для обнаружения лесных пожаров до 90-х гг. XX в. использовали пожарно-наблюдательные вышки (ПНВ), мачты (ПНМ) и пункты (ПНП) (рис. 5.2).

ПНВ изготавливали по типовым проектам (пирамидальные, четырех- и треугольные) высотой 35 м в металлическом исполнении. Вышка имела лестницу для подъема наблюдателя в кабину наблюдения. В кабине наблюдения имелся стол с азимутальным кругом и градусной сеткой с делениями через 0,5 и приспособление (диотроп) для визирования. Место вышки указывалось на плане лесонасаждений лесхоза (лесничества). Дежурный на вышке, заметив дым, по визиру определял направление (азимут) в градусах и передавал по радио (телефону) сообщение в лесничество (лесхоз).

ПНМ состоит из мачты высотой 30 м, установленной на фундамент на растяжках, подъемно-спусковой системы с кабиной наблюдателя (рис. 5.2, б). На ПНВ и ПНМ в последние годы устанавливают телекамеры специально разработанной установки ПТУ-59.

При нормальных условиях видимости дым от начинающегося лесного пожара с ПНВ и ПНМ можно было заметить на расстоянии до 20 км, т. е. можно было осматривать площадь до 20 тыс. га. При наблюдении с помощью ПТУ-59 дальность четкой видимости в равнинных условиях составляет 12–15 км.

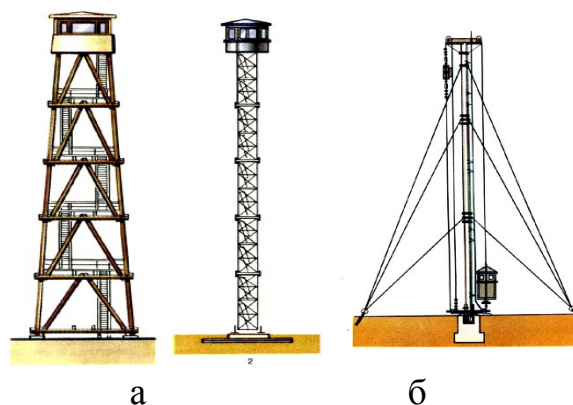


Рис. 5.2. Пожарно-наблюдательная вышка (а) и мачта (б)

ПНП устраивали, как правило, в горной местности в виде небольших павильонов на возвышенных местах. Основные недостатки данных способов обнаружения пожаров:

- ✓ необходимость постоянного использования человеческого труда в каждой точке расположения вышки, в течение всего времени пожароопасного сезона и ограничение территории мониторинга количеством установленных вышек. В настоящее время этот метод практически не реализуем из-за отсутствия достаточного количества специалистов на местах. Для примера можно привести Тверскую область, в которой в 80-х гг. прошлого века для оперативного обнаружения пожаров работало около 6000 лесничих, сейчас их менее 600 человек;

- ✓ высокая стоимость вышки, так как вышка должна быть специально оборудована для постоянного нахождения на ней человека. Для примера: стоимость погонного метра вышки, предназначенной только для размещения оборудования инструментального наблюдения, составляет 11 тыс. р. за метр высоты, а стоимость пожарной вышки для визуального наблюдения составляет более 50 тыс. р. за погонный метр (т. е. в целом около 2 млн р.). По этой причине пожарные вышки не обновлялись уже более 20 лет, и большинство из них уже не могут быть использованы из-за аварийного технического состояния.

IT-технологии. В настоящее время учеными из Нижнего Новгорода (компания ООО «Дистанционные системы контроля»), разработана система распределенного видеонаблюдения для решения задачи раннего обнаружения лесных пожаров. Система названа «Лесной дозор».

Этот сложный информационный (аппаратно-программный) комплекс, создан на основе современных технологий: IP видеонаблюдение, технологии ГИС, клиент-серверные интернет-технологии, компьютерное зрение, мобильные приложения, беспроводная высокоскоростная связь. Система «Лесной дозор» в настоящее время успешно испытана, и ее использует ряд регионов РФ: Тамбовская, Нижегородская, Московская, Тверская, Амурская, Вологодская, Курская, Кемеровская области, республики Коми, Марий Эл и в Приморском крае.

К преимуществам этого способа раннего обнаружения пожаров можно отнести простоту самого метода и достаточно высокую оперативность (при наличии благоприятных погодных условий), а также сохранившуюся до сегодняшних дней инфраструктуру пожарных вышек, вышек операторов сотовой связи, провайдеров связи, телевизионных, радиовещательных, которые можно использовать.

«Лесной дозор» работает следующим образом. На неспециализированных высотных сооружениях размещают управляемые видеокамеры с широким диапазоном приближения изображения и возможностью дистанционного управления через сеть Интернет (вращение, приближение удаление, запись). В любом удобном месте размещается центр контроля (с возможностью высокоскоростного подключения в сеть Интернет), где располагается оператор и с помощью специального программного обеспечения управляет системой камер и обнаруживает пожар (рис. 5.3).

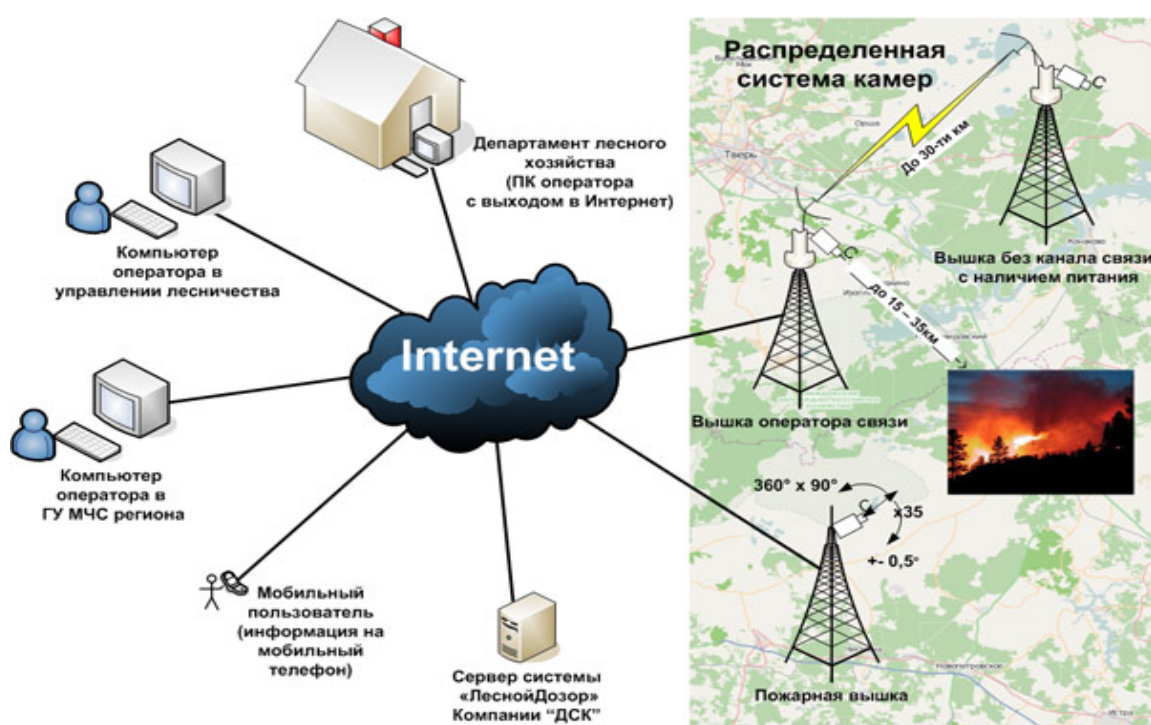


Рис. 5.3. Функциональные возможности системы «Лесной дозор»

Система позволяет распределять нагрузку по нескольким операторам, что позволяет повысить качество обнаружения. Система легко расширяется, и пригодна как для задач обнаружения лесных пожаров на небольших территориях, так и для задач мониторинга обширных областей.

Характеристики системы:

- ✓ радиус обзора одной точки мониторинга: ~ 30 км;

- ✓ точность определения направления на объект: $\sim 0,5^\circ$;
- ✓ точность определения местоположения очага возгорания: ± 250 м;
- ✓ время, требуемое на обзор одной точки мониторинга: ~ 10 мин;
- ✓ количество точек мониторинга на одного оператора – до 15 шт. (в перспективе до 50 шт.);
- ✓ количество точек в системе не ограничено.

Отдельно стоит отметить возможности компьютерного зрения, позволяющего автоматически определять потенциально опасные объекты (дым, огонь) на видеоизображении и оповещать оператора о возможной опасности.

В свою очередь, оператор сам принимает решение о необходимости принимать действия для тушения пожара. С помощью программы можно определить точные координаты очага возгорания и рассчитать оптимальный маршрут к источнику пожара.

Основные функциональные возможности системы:

- ✓ возможность доступа к системе из любого центра контроля, при наличии подключения в сеть Интернет на требуемой скорости с достаточным количеством трафика;
- ✓ дистанционное управление видеокамерами, изменение их ориентации по азимуту и высоте, изменение зума, разрешения и качества видеоизображения;
- ✓ выделение на видеоизображении потенциально важных объектов;
- ✓ возможность работы с картой: отображение на карте квартального слоя, а также различных объектов, предназначенных для выполнения процедур по мониторингу леса; представление информации о местоположении видеокамер и их текущей ориентации; определение направления на видимый пожар с одной камеры и координат очага возгорания с нескольких камер;
- ✓ возможность определения наиболее пожароопасных территорий по показателям пожарной опасности леса (по условиям погоды);
- ✓ создание маршрутов патрулирования леса для автоматического сканирования заданной территории; запуск до четырех маршрутов патрулирования в одном окне; возможность закликивания маршрута патрулирования;
- ✓ автоматическое обнаружение очагов возгорания и сигнализация оператору при просмотре маршрутов патрулирования, а также при выполнении мониторинга в ручном режиме;
- ✓ сохранение текущего изображения с камеры (в виде картинки и видео-файла) для дальнейшего просмотра и анализа;
- ✓ управление доступом пользователей к камере, статистика и контроль работы пользователей;
- ✓ быстрый обмен оперативными сообщениями о сложившейся ситуации с другими операторами и группами операторов в рамках выполнения задач по обнаружению и ликвидации пожаров;
- ✓ получение уведомлений, указаний, рекомендаций от администраторов системы по вопросам функционирования компонентов продукта;
- ✓ представление информации о текущей пожарной обстановке на мо-

бильный телефон;

- ✓ автоматическое обновление программы с минимальным участием пользователя для добавления новой функциональности и устранения программных ошибок;

- ✓ автоматическое отключение приложения при долгосрочном отсутствии активности пользователя.

Следует отметить, что в отличие от авиа- и космического мониторинга, система «Лесной Дозор» позволяет осуществлять мониторинг в реальном времени 24 ч в сутки и 7 дней в неделю, к тому же она существенно дешевле использования авиации и оперативнее спутникового мониторинга. Другим отличием ее от существующих систем видеонаблюдения за лесами является масштабируемость и использование систем «Компьютерного зрения».

5.1.3. Авиационное патрулирование

В результате поиска путей совершенствования борьбы с пожарами в первой половине XX в. был сделан основной вывод: для того чтобы снизить затраты на тушение пожара, необходимо обнаружить его на максимально возможно ранней стадии и незамедлительно приступить к ликвидации. Как проводить охрану лесов крупных районов, где нет развитой дорожной сети? Применение авиации позволяет решить сразу две задачи: раннее обнаружение пожаров и оперативную доставку на тушение специализированных пожарных команд.

Экспериментальное использование самолетов для обнаружения пожаров состоялось еще в 1915 г. в штате Висконсин (США). В 1921 г. на лесной конференции в Москве прозвучал доклад профессора Г. М. Турского о применении аэропланов и привязных аэростатов для охраны лесов и борьбы с лесными пожарами. Первый практический полет с целью обнаружения лесного пожара был выполнен 7 июля 1931 г. на самолете У-2 в Горьковской области. Эту дату принято считать датой рождения специализированной авиационной пожарной службы в составе лесного ведомства – «Авиалесоохрана». Первые эксперименты по ликвидации загораний леса с воздуха были произведены в начале 1930-х гг., а в 1950–1960-х гг. это вошло в практику.

Авиационное патрулирование проводят на самолетах и вертолетах отделения авиационной базы охраны лесов. На один самолет или вертолет по специальным нормативам устанавливают величину охраняемой площади лесов. Она может варьировать от 1 до 3 млн га в зависимости от *горимости* (количества возникающих пожаров в один день и обстоятельств их развития). Патрульные полеты, в зависимости от погодных условий и видимости проводят по утвержденным маршрутам на высотах от 600 до 1500 м. В одном авиационном отделении устанавливают не более двух маршрутов (до 700 км для Ан-2 и 250 км для Ми-8), которые прокладывают таким образом, чтобы обеспечить осмотр наиболее пожароопасных участков леса. При установлении режимов 2-, 3- и 5-кратного патрулирования в целях своевременного обнаружения пожаров протяженность патрульных маршрутов соответственно сокращается.

В авиационных отделениях, где имеются авиапожарные команды, патрулирование проводят с парашютистами и десантниками-пожарными на борту. Это сокращает время между обнаружением и началом организации тушения. При полете по маршруту, заметив дым, летчик-наблюдатель дает указание пилоту об изменении маршрута для полета к дымовой точке и записывает в бортжурнале время и место разворота, а также новый курс.

С момента обнаружения дымовой точки и до окончания работ над ней (сбрасывание вымпелов, высадка парашютистов, и выполнение других операций), производят записи в бортжурнале. Фиксируют место и время изменения основных элементов полета (курса, высоты, скорости), а также сведения о пожарах и проделанной работе (сброс схем, высадка парашютистов, посадка вертолетов, передача сведений по радио и др.).

Место пожара определяют по патрульной карте визуальным путем привязки его к квартальной сети и ближайшим опознанным ориентирам. При значительном удалении пожара от ориентиров его место определяют при помощи пеленгаторов. Истинные пеленги на пожар берут с двух ориентиров, выбранных с таким расчетом, чтобы пеленги от них не пересекались под углом менее 45 или более 135°. Для большей точности рекомендуют брать третий пеленг, обратный одному из взятых или с дополнительного ориентира. Летчик-наблюдатель имеет право продолжать дальнейший полет по маршруту лишь после того, как убедится в правильности определения места пожара. Для определения с воздуха вида пожара обращают внимание на следующие признаки:

- ✓ *низовой пожар* – форма площади пожара вытянутая, с извилистыми границами, огонь под пологом древостоя виден обычно местами, цвет дыма беловатый;

- ✓ *верховой пожар* – площадь пожара сильно вытянута, видны горящие кроны деревьев, огонь хорошо заметен с высоты 600 м, цвет дыма темный;

- ✓ *торфяной или подземный пожар* – границы недавно возникшего пожара плохо заметны, дым поднимается по всей площади пожара, огонь не виден;

- ✓ *на пожаре, действующем более суток*, границы выгоревшей площади хорошо заметны, дым сосредоточен по периферии пожара, много деревьев, вывалившихся вершинами на выгоревшую площадь, огонь не виден.

Для определения интенсивности низовых пожаров служат следующие признаки:

- ✓ при сильной интенсивности пожара пламя видно с высоты 200 м и по всему фронту пожара;

- ✓ при средней интенсивности пожара пламя с высоты 200 м видно лишь на отдельных участках фронта пожара;

- ✓ при малой интенсивности огонь с высоты 200 м не заметен.

Установив место и вид пожара, летчик-наблюдатель проводит облет на высоте 600–800 м и наносит границы пожара на патрульную карту по ориентирам, опознанным на местности. Если площадь пожара в масштабе карты со-

ставляет менее $0,5 \text{ см}^2$, его место отмечают точкой. Площади, пройденные пожарами, определяются палеткой. Площади пожаров, место которых на карте обозначено точкой, определяют обычно глазомерно. Допускаемые погрешности в определении площадей не должны превышать 30 %. После определения площади и вида пожара при необходимости составляют донесение или схему места пожара, на которую наносят квартальную сеть, населенные пункты, реки, озера, дороги, тропы и другие ориентиры. На схеме красным цветом наносят границы пожара или обозначают его кружком (если размеры пожара незначительные).

Направление распространения огня указывают красной стрелкой. Голубым цветом наносят реки, озера, болота, коричневым – дороги, зеленым – квартальную сеть, черной стрелкой показывают направление ветра, указывают названия населенных пунктов. На схеме указывают и дополнительные ориентиры, которых нет на карте, а также естественные преграды, которые можно использовать для остановки огня, и дают рекомендации по тактике тушения пожара.

После составления схемы пожара высоту полета снижают для детального осмотра пожара: на самолетах не ниже 200 м истинной высоты и на вертолете не ниже 100 м. Летчик-наблюдатель производит описание горящего леса (состав, полнота, возрастная группа – молодняки, средневозрастные, спелые). Если пожар действует на не покрытой лесом площади, указывает ее вид (вырубка, лесная поляна, луг и т. д.). Кроме того, он устанавливает наличие или отсутствие на пожаре рабочих, определяет интенсивность горения, выявляет дополнительные данные, которые наносит на схему.

Летчик-наблюдатель обязан немедленно сообщить по радио с борта воздушного судна о пожаре и принимаемых мерах по его ликвидации в лесхоз и авиаотделение. Если радиосвязь с лесхозом отсутствует, он обязан сбросить составленное им донесение о пожаре в ближайший пункт приема донесений, от которого наиболее удобны пути подхода к пожару.

В настоящее время для обнаружения и тушения лесных пожаров региональные базы авиационной охраны лесов ежегодно привлекают более 400 самолетов и вертолетов, в том числе 100 единиц ведомственной авиации.

Авиапатрулирование лесов в РФ проводят в зависимости от пожарной опасности, исходя из концепции «обнаружения пожаров на ранней стадии и незамедлительной доставке к ним сил для тушения».

В мире существуют и другие концепции. В США структура управления и действия сил условно подчинены принципу: «силы тушения адекватны ситуации». Такой силовой подход выдвигает на первое место умение «тушить и управлять».

Выбранная в Южной Корее модель организации борьбы с лесными пожарами опирается на локальные особенности. В Южной Корее ежегодно случается около 300 лесных пожаров в основном весной и осенью на относительно небольшой территории. Именно в этом факте кроется причина принятой модели. Весной и осенью способны загораться так называемые травяные типы леса. Это приводит к преобладанию беглых низовых пожаров, характеризующихся высо-

кой скоростью распространения, но низкой степенью прогорания напочвенного покрова. Именно в этих условиях авиатанкерная техника способна дать максимальный результат. В стране с гористым рельефом вертолеты с водосливными устройствами (ВСУ) наиболее оптимальны, а значит доминируют. Но такая модель охраны не может быть полностью повторена в странах с иными природно-климатическими особенностями и большими территориями.

Парк пожарной авиации Южной Кореи в последние годы пополнился новой техникой: Ка-32Т, S-64 «Helitanker», «Ансат». Балансовая стоимость парка пожарных воздушных судов (ВС) Южной Кореи превосходит балансовую стоимость нынешнего парка ведомственной авиации ФГУ «Авиалесоохрана». И это для тушения 300 пожаров в год, тогда как только в лесах Иркутской области их ежегодно случается 1500.

Хотя универсальной структуры управления и действия противопожарных сил пока не создано, однако принципы, лежащие в основе организации российского подхода по критерию «стоимость-эффективность», мировыми учеными и практиками признаны лучшими.

До начала 1990-х гг. лесная служба имела большие возможности в реализации лесоохранной политики. Низкая стоимость эксплуатации авиатехники, наличие густой аэродромной сети во всех уголках страны позволяли выполнять работы в полном объеме. В течение десятилетий отработывали технологии взаимодействия лесных и авиационных служб. В 1990-е гг. экономические и политические преобразования в стране привели к изменению функционирования лесопожарных служб. За последние годы обеспечение авиационных работ уменьшилось со 150 тыс. летных часов ежегодно до недопустимо низкого уровня, равного 22 тыс. ч (~объем авиаработ в 1940 г.). Это негативно сказалось на выполнении сложившихся технологий «Авиалесоохраны». К сожалению, тенденция уменьшения финансирования авиалесоохранных работ при одновременном росте тарифов продолжается и в настоящее время. Как следствие, сегодня в РФ доля самых опасных и дорогостоящих в тушении крупных лесных и катастрофических пожаров возросла с обычных 2–3 % до 10–15 % и более. На тушение этих пожаров расходуют 80–95 % всех наличных ресурсов.

Принятые меры по адаптации действующих технологий к новым условиям, привлечение новых технических средств лишь незначительно снизили остроту ситуации. Специалисты считают, что реальным выходом из тупика может стать снижение себестоимости полетов. Анализ показывает, что в 65–75 % случаев авиационные работы можно проводить воздушными судами взлетной массой 1–3,5 т. То есть развитие малой авиации в России является условием повышения эффективности борьбы с лесными пожарами.

На графике (рис. 5.4) представлена зависимость доли обнаружения пожаров авиацией и показателей тушения на примере Красноярской базы авиационной охраны лесов, работающей на территории Красноярского края, республик Тыва и Хакасия. Игнорирование приоритета раннего обнаружения пожаров закономерно приводит к росту ущерба, нанесенного огнем.

Для авиапатрулирования в большинстве случаев применяют Ан-2 и Ми-2 (50–75 % общего налета) с парашютной или десантной командой на борту, готовой незамедлительно высадиться к обнаруженному очагу возгорания.

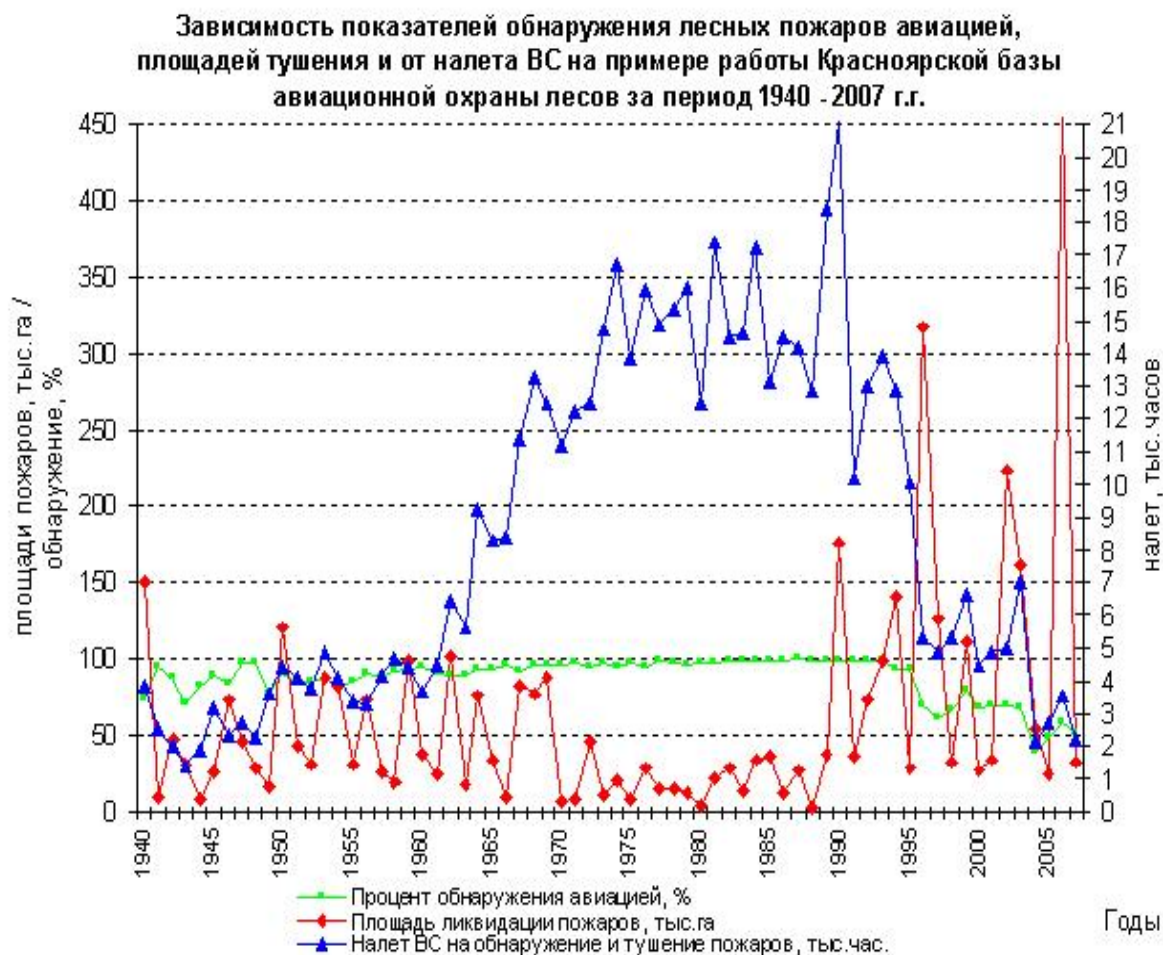


Рис. 5.4. Зависимость показателей обнаружения лесных пожаров авиацией и площадей тушения от налета воздушных сил на примере Красноярской базы авиационной охраны лесов

В восточной части России вертолетов и самолетов с взлетной массой менее 2 т очень мало и предлагаются они по цене летного часа Ан-2 и Ми-2. Вертолет Ми-8 используют для доставки мобильных команд, в том числе на спусковых устройствах. Специальный анализ показывает, что наиболее подходящим средством могли бы быть вертолеты со взлетной массой 3–4,5 т, например зарубежные EC-145, Bell-412 и российский «Ансат». В настоящее время в авиакомпаниях нет подобной техники. Так что при всем желании сократить производственные издержки, альтернативы Ми-8 нет.

Иркутская авиабаза осуществляет авиационную охрану лесов на площади 71 млн га. Из них 1,6 млн га – это Прибайкальский национальный парк, Байка-

ло-Ленский и Витимский заповедники. 72 % охраняемой территории по своей доступности относят к районам применения авиационных сил и средств пожаротушения.

Беспилотные технологии. Беспилотная техника может решать довольно узкий спектр задач. Существенные ограничения радиуса для радиоканала не позволяют использовать аппараты для контроля большой территории, несмотря на большую дальность и продолжительность полета. Поэтому в области охраны лесов ниша беспилотных самолетов – это наблюдение за развитием конкретного пожара. Себестоимость работы обычного самолета или вертолета с базового аэродрома на площадях 3–5 млн га значительно ниже, чем создание сети оперативных точек беспилотных аппаратов, поскольку самолеты и вертолеты общего назначения можно использовать и для других целей (в с/х работах, пассажиро- и грузоперевозках), тогда как «беспилотники» не могут быть использованы для других работ, что перекладывает все расходы (приобретение, обслуживание, ремонт и пр.) на службы, которые занимаются мониторингом лесных пожаров. К тому же цена беспилотного самолета зарубежного производства составляет примерно 1 млн дол. Все это приводит специалистов к заключению, что беспилотный аппарат в ближайшие 10–15 лет не сможет конкурировать с обычной авиацией при проведении лесоавиационных работ на больших площадях.

Кроме того, на данный момент не только в РФ, но и во всем мире практически отсутствует нормативно-правовая база для применения беспилотной техники. Таким образом, специалисты от авиалесоохраны считают, что на сегодняшний день нет дешевых альтернативных технических решений для замены авиапатрулирования.

Однако надо отметить, что основным недостатком способа авиапатрулирования является очень высокая стоимость летного часа. Например, летный час самолета Ан-2 стоит около 40 тыс. р. К тому же этот самолет уже давно снят с производства, и его заменяют вертолетом Ми, стоимость летного часа которого составляет более 75 тыс. р. Кроме того, необходим специально обученный персонал (штурманы), которые непосредственно определяют маршрут полета, визуально обнаруживают места возгорания и определяют координаты пожара. Вести непрерывный авиа-мониторинг большой территории также невозможно, и это может явиться причиной позднего обнаружения пожара.

Анализ сайта <http://www.aviales.ru>, принадлежащий Российской «Авиалесоохране», в задачи которой входит обнаружение и тушение лесных пожаров, показывает, что даже для них основным способом обнаружения лесных пожаров в настоящее время является спутниковый (космический) мониторинг.

5.1.4. Спутниковый мониторинг лесных пожаров

Начиная с 1978 г. в нашей стране в целях охраны лесов используют оперативную спутниковую информацию. Такая информация позволяет:

- ✓ получать данные о состоянии снежного покрова и его сходе, которые используют для проектирования сроков начала и окончания работ по охране лесов для крупных регионов страны;
- ✓ получать погодные данные, определяющие пожарную опасность в лесах;
- ✓ производить оценку пожарной опасности в пределах сезона;
- ✓ проводить детектирование пожаров и определение мест загорания;
- ✓ проводить мониторинг и контроль развития пожаров;
- ✓ прогнозировать риски возникновения пожаров в долгосрочной перспективе;
- ✓ контролировать динамику развития лесных пожаров и складывающуюся пожарную обстановку для разработки мер по тушению;
- ✓ учитывать площади, пройденные огнем, получать другую информацию для разработки лесоохранных мер;
- ✓ производить оценку последствий пожаров.

Дистанционная система мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСМД Рослесхоз) начала создаваться консорциумом институтов Российской академии наук, Рослесхоза, Росгидромета в 2003 г., а в 2005 г. ее основные элементы введены в эксплуатацию.

Территория лесного фонда РФ разделена по видам мониторинга и уровням охраны лесов. Территории, где не проводят авиационное патрулирование и тушение лесов, отнесены к зоне космического мониторинга *первого уровня*.

На территории, где авиапатрулирование производят эпизодически, а решение о тушении пожаров принимают на региональном уровне, была введена зона космического мониторинга *второго уровня*.

Создана система автоматической генерации отчетных данных, доступ к которым имеют пользователи лесопожарных центров регионального и окружного уровня и 20 баз и звеньев ФГУ «Авиалесоохраны» (рис. 5.5, 5.6).

В настоящее время в ИСДМ Рослесхоз использует спутниковые данные, получаемые с нескольких приборов, установленных на спутниках NOAA, TERRA, AQUA, SPOT, LANDSAT и METEOP (табл. 5.1). Некоторые технические характеристики приборов, установленных на спутниках и диапазон длин волн, с помощью которых производят детектирование, представлены в табл. 5.2 и 5.3.

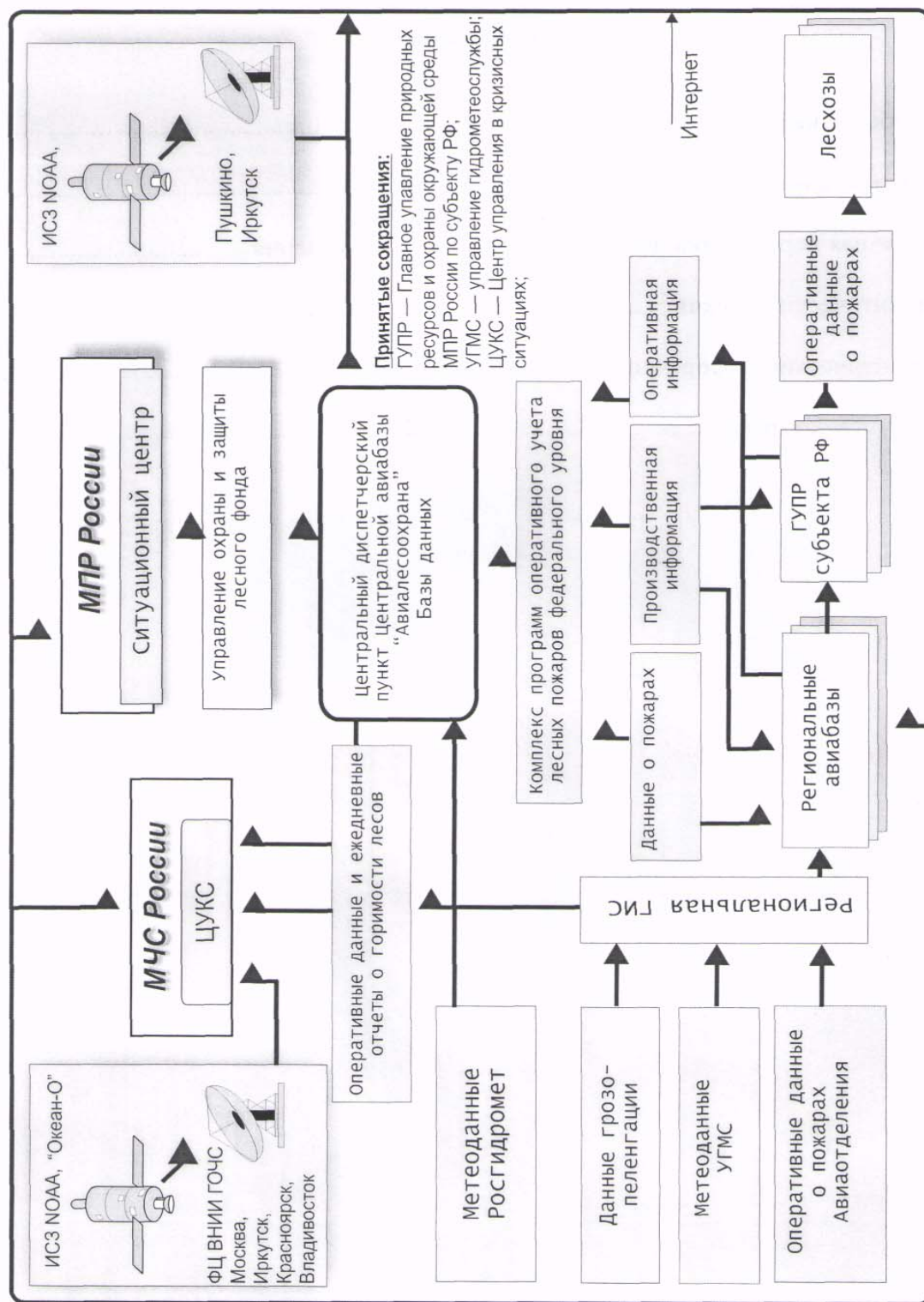


Рис. 5.5. Государственные информационные системы в области охраны лесов от пожаров

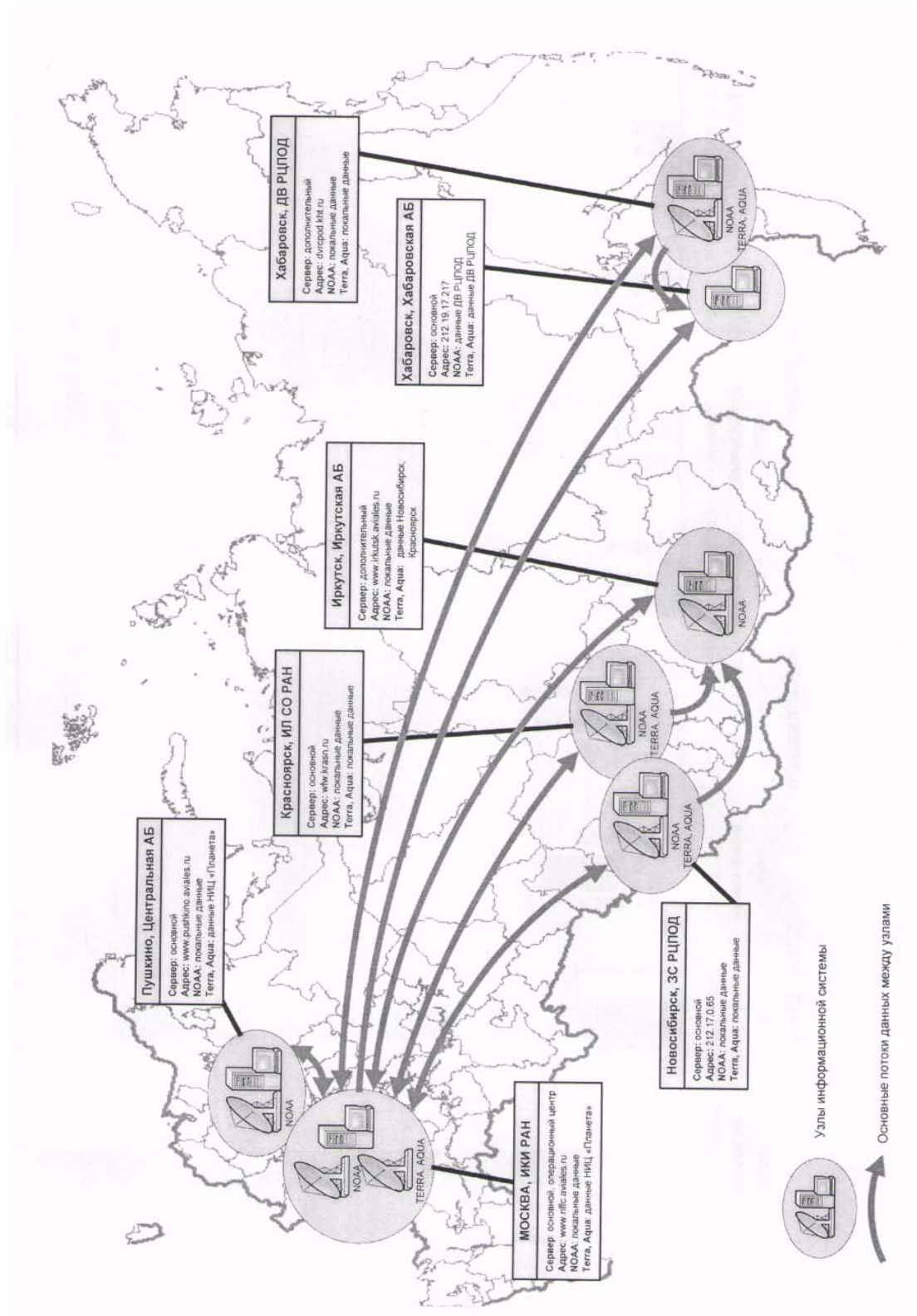


Рис. 5.6. Расположение информационных серверов

Таблица 5.1

Спутник, прибор и получаемая информация

Прибор	Спутник	Использование данных, получаемых с приборов
AVHRR	NOAA	Детектирование подозрений на действующие пожары и построения различных изображений облачности
MODIS	TERRA AQUA	Детектирование подозрений на действующие пожары и построение различных изображений облачности; оперативная оценка площадей, пройденных огнем
МСУ-Э	METEOP	Выборочный контроль площадей, пройденных огнем; верификация оценок, полученных на основе данных SPOT-VGT(Vegetation); уточнение картографических основ
LANDSAT ETM+	LANDSAT	Выборочный контроль площадей, пройденных огнем; верификация оценок, полученных на основе данных SPOT-VGT(Vegetation); уточнение картографических основ
SPOT- VGT	SPOT	Оценка площадей, пройденных огнем; оценка последствий лесных пожаров

Таблица 5.2

Технические данные приборов, установленных на спутниках

Спутник/прибор	NOAA/ AVHRR	TERRA,AQUA/ MODIS	LANDSAT/ TM (ETM+)	TERRA/ ASTER	SPOT /SPOT-VGT
Пространственное разрешение, м	1100	NIR – 250–1000 SWIR – 500 TIR – 1000	NIR, SWIR – 30 TIR – 60	NIR – 15 SWIR – 30 TIR – 90	1000
Количество спектральных каналов в ИК диапазоне	NIR – 1 SWIR – 1 TIR – 2	NIR – 6 SWIR – 3 TIR – 16	NIR – 1 SWIR – 2 TIR – 1	NIR – 1 SWIR – 6 TIR – 5	Red Blue NIR – 1 SWIR

Таблица 5.3

Диапазоны длин волн, используемые для детектирования сигналов

Диапазон		Сокращения	
Русский	Английский	Русский	Английский
Ультрафиолетовый	Ultraviolet	УФ	
Видимый	Visible	В	UV
Инфракрасный	Infrared	ИК	VIS
Ближний ИК	Near Infrared	БИК	NIR
Средний ИК	Short Wave Infrared	СИК	SWIR
Дальний ИК	Mid Wave Infrared	ДИК	MWIR
Тепловой ИК	Thermal Infrared	ТИК	TIR
Микроволновой	Microwave	МВ	MW

Данные с каждой из этих систем приходят не реже шести раз в сутки. Данные со спутников этих серий можно использовать как автономно, так и со-

вместно. Во втором случае можно существенно повысить эффективность мониторинга, поскольку вероятность обнаружения очага будет более точной.

В основе всех методов лежат следующие принципы:

- ✓ анализ распределения сигнала в пределах определенных спектральных каналов аппаратуры наблюдения;
- ✓ пороговое правило отнесения участка изображения (или пикселя) к соответствующему классу;
- ✓ статистический анализ распределения спектральных характеристик отдельных участков изображения (или пикселей);
- ✓ анализ достоверности отнесения зарегистрированного сигнала к соответствующему классу.

Последовательность процедур обработки космических изображений:

- ✓ определение информативных каналов;
- ✓ обособление туч, водных объектов и утраченных данных на снимках в определенных каналах;
- ✓ определение мест потенциальных пожаров;
- ✓ определение локальных спектральных особенностей поверхности и регистрация пожаров за косвенными признаками;
- ✓ уточнение детектирования с учетом локальных особенностей, применение комплексных правил определения пожаров;
- ✓ анализ возможности ошибочного распознавания;
- ✓ заверка результатов детектирования и принятие решения.

В рамках осуществления мониторинга пожаров используют различные методы. Детектирование пожаров основано на обнаружении повышения локальной температуры и яркости. Обнаружение пожаров на снимках из космоса возможно благодаря наличию разнице температур земной поверхности и очага пожара, это, в свою очередь, приводит к разнице в тепловом излучении объектов пожара в тысячи раз. При съемке тепловой аппаратурой с пространственным разрешением 1 км, можно обнаружить очаг пожара площадью в 100 м², а также зону тления площадью в 900 м². При визуальном выявлении пожара определение осуществляют по наличию такого признака присутствия очага горения в зоне обзора, как дымовой шлейф (табл. 5.4).

В отличие от приборов AVHRR, MODIS, LANDSAT ETM+, данные прибора SPOT-VGT (платные услуги) поступают с задержкой до 10 дней, а в свободный доступ данные вкладываются с задержкой до 6 месяцев. Благодаря специальному алгоритму, основанному не на тепловых аномалиях, а на сравнении данных по различным дням и неделям, определяют участки растительности, которые изменили свой вид (например, стали усыхать в результате повреждения пожаром). По данным этого прибора нельзя оперативно определить факт возникновения пожара, но можно точно фиксировать контур выгоревшего и поврежденного участка леса.

Таблица 5.4

Визуальное дешифрирование космических снимков

Спутник/ Прибор	NOAA/ AVHRR	TERRA(AQUA)/ MODIS		LANDSAT/ TM (ETM+)		
Дешифровочные признаки	Общий вид пожаров с дымовыми шлейфами	Общий вид пожаров с дымовыми шлейфами	Разогретые участки земной поверхности дешифрируются по белому тону	Общий вид пожаров с дымовыми шлейфами	Хорошо видны очаги открытого пламени	Участки поверхности с высокой температурой имеют ярко розовый цвет
Пространственное разрешение	1, 2, 1 – 1100 м	1 – 250 м 3 и 4 – 500 м	31, 23, 21 – 1000 м	3, 2, 1 – 30 м		
Примечания	Естественные цвета	Естественные цвета	Дальний инфракрасный диапазон	Естественные цвета	Средний и ближний ИК – диапазон. Выявление лесных пожаров	Тепловой, средний и ближний ИК-диапазон. Выявление подземных торфяных пожаров

Совместное использование разновременных оптических и радарных съемок позволяет повысить вероятность правильного распознавания и оперативность оценки площади сгоревших участков лесных территорий. Многополяризационная радиолокационная съемка может быть применена для оперативной оценки пожарной обстановки вокруг крупных промышленных, военных и научных объектов в случае облачной погоды, препятствующей оптическим наблюдениям.

Интенсивное развитие мобильной компьютерной техники и средств связи позволяет организовать дистанционный доступ к ИСДМ-Рослесхоз непосредственно из штабов тушения крупных лесных пожаров. Такой подход к информационному обеспечению работ позволяет реализовать на базе интерфейсов ИСДМ-Рослесхоз решения целого ряда дополнительных локальных задач и позволит оперативно управлять тушением пожаров, проверять достоверность информации о количестве пожаров и их площадях, контролировать профилактические выжигания.

5.2. Сравнение эффективности различных способов обнаружения пожаров

Своевременное, т. е. в кратчайший срок после возникновения, обнаружение лесного пожара дает возможность приступить к его тушению в начале развития, что упрощает задачу и значительно снижает затраты и убытки. Своевре-

менность обнаружения пожаров какими-либо нормативами не определена. Однако на практике в районах интенсивного ведения лесного хозяйства своевременным считается обнаружение лесного пожара, распространившегося на площади до 0,01 га, в районах, где обнаружение обеспечивается наземными и авиационными средствами – до 1 га, а в районах, где обнаружение ведется только авиационными средствами – до 3 га. Кроме этого, пожар, ликвидированный имеющимися силами и средствами в течение одного дня, также считается обнаруженным своевременно.

К преимуществам спутникового мониторинга можно отнести автоматизацию процесса получения данных, дистанционность способа, возможность наблюдать любые участки местности, легкий доступ к информации через сеть Интернет.

В качестве недостатков спутникового мониторинга необходимо отметить большую площадь минимально обнаруживаемого очага возгорания, которая колеблется от 20 до 50 га, невысокую периодичность получения данных (несколько раз в сутки) и сильное влияние погодных условий. Для оперативной работы по обнаружению возгораний эта информация не имеет большой ценности, поскольку на практике для эффективной борьбы с природными пожарами желательная площадь обнаружения – менее 1 га, а площадь пожара на момент начала тушения – не более 5 га. В условиях ветреной погоды задержка обнаружения даже небольшого пожара в 4–6 ч может привести к серьезным последствиям и увеличить стоимость его ликвидации.

Специалисты авиалесоохраны утверждают, что имеется общее заблуждение, заключающееся в том, что сегодня существует множество относительно дешевых технических решений, способных в автоматизированном режиме передавать картинку местности в цифровом виде, а значит, быть альтернативой авиапатрулированию. Они считают, что любое техническое решение предполагает носитель для размещения оборудования, будь то сеть наземных вышек или аэростатов, самолет (вертолет), спутник, а создание и поддержание наземной сети вышек или аэростатов, покрывающей сотни миллионов гектаров, обойдется на порядок дороже, чем классическое авиапатрулирование на самолетах.

Но при всех недостатках спутниковый мониторинг необходим в случае больших лесных территорий и при отсутствии возможности мониторинга другими способами (стоимость спутникового мониторинга также невысока). Информация, полученная по результатам спутниковой съемки, важна для мониторинга крупных пожаров и оценки их последствий.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные документы, которые регламентируют организацию охраны лесов от пожаров.
2. Оправдали ли себя концепции а) «самоотмирания» проблемы лесных пожаров с развитием самосознания человечества; б) необходимости полного исключения огня из жизни лесных биотенотозов?

3. Что понимается под «противопожарной профилактикой»?
4. Как правильно нужно осуществлять противопожарную пропаганду?
5. Какие меры предупреждения возникновения лесных пожаров Вам известны?
6. В чем заключаются меры ограничения распространения лесных пожаров?
7. Какие виды работ проводят для эффективного противопожарного обустройства территории лесного фонда?
8. Посредством чего осуществляют организационно-технические противопожарные меры?
9. Какие виды противопожарных барьеров Вы знаете?
10. Какой противопожарный барьер самый эффективный: минерализованная полоса, противопожарный разрыв или заслон?
11. Как и с какой частотой должны устраиваться противопожарные водоемы на территориях с низкой, средней и высокой пожароопасностью и горимостью?
12. Назовите все методы наземного способа обнаружения пожаров.
13. Кто, как и с помощью каких средств проводит патрулирование лесных территорий?
14. Каков порядок действий при обнаружении возгорания?
15. Как производится наблюдение за лесными массивами с пожарных наблюдательных вышек, мачт, пунктов? Чем эти инженерные сооружения отличаются друг от друга?
16. Какие достоинства и недостатки метода патрулирования и метода визуального наблюдения с пожарных наблюдательных вышек, мачт, пунктов Вы можете отметить?
17. Опишите принцип работы инновационной системы обнаружения пожаров «Лесной Дозор».
18. Можете ли Вы выявить основные достоинства и недостатки инновационной системы раннего обнаружения пожаров «Лесной Дозор»?
19. Как Вы думаете: будет ли данная система столь же эффективна в Восточной Сибири, как в европейской части России?
20. В каких регионах РФ лесное патрулирование выгоднее наземных методов обнаружения пожаров?
21. Какие типы самолетов и вертолетов используют для авиапатрулирования в РФ, на какой высоте и при какой длине маршрута?
22. Перечислите порядок действий летчика-наблюдателя при обнаружении пожара.
23. По каким признакам летчик-наблюдатель отличает низовой, верховой и торфяной пожары?
24. Какова величина допускаемой погрешности оценки площадей возгорания?

25. Отличаются ли концепции обнаружения лесных пожаров, исходя из которых применяют авиапатрулирование в различных странах (РФ, США, Канада, Южная Корея)? Если отличаются, то чем?

26. Назовите достоинства и недостатки способа авиапатрулирования по сравнению с наземными способами обнаружения пожаров.

27. Выгодно ли в настоящее время применять беспилотную авиацию?

28. Назовите основные преимущества и трудности использования спутникового мониторинга лесных пожаров.

29. Какие методы детектирования пожаров используют при спутниковом мониторинге?

30. Какова наименьшая площадь пожара или тления различима со спутника?

31. Каковы недостатки оптических датчиков инфракрасного диапазона?

32. Каковы основные недостатки спутникового мониторинга пожаров?

6. Борьба с лесными пожарами

6.1. Стратегия и тактика тушения лесных пожаров

Тушение лесных пожаров, согласно Лесному кодексу Российской Федерации, является третьей частью основной задачи (после предупреждения и обнаружения) охраны лесов. Эффективность ликвидации лесных пожаров зависит от выбранной *стратегии* и *тактики*.

Что означают эти слова? *Стратегия* (от греч. *stratos* – войско, *ag* – веду; стратагема – военная хитрость, обман) – учение о лучшем расположении и употреблении всех военных сил и средств. *Тактика* (от греч. *taktika* – искусство построения войска, и от слова *tasso* – строю, выстраиваю войска) – составная часть военного искусства, включающая теорию и практику подготовки и ведения боя; совокупность средств и приемов для достижения намеченной цели. Тактика занимает подчиненное положение по отношению к стратегии и обслуживает ее.

Следовательно, по отношению к лесным пожарам *стратегию* нужно понимать как учение о лучшем расположении и употреблении всех имеющихся ресурсов для быстрой локализации и ликвидации лесного пожара.

Под *тактикой* в этом случае понимается принятие наиболее целесообразной совокупности способов, методов и приемов борьбы с огнем в конкретных условиях.

Для успешной организации тушения лесных пожаров и обеспечения действенного руководства работами руководствуются классификаторами лесных пожаров.

6.1.1. Организация тушения лесных пожаров

При организации тушения крупных лесных пожаров по прибытии к месту работ руководитель должен: совершить облет (если имеется такая возможность) пожара с целью выяснения общей обстановки; по результатам аэровизуальной разведки, информации прибывших ранее на пожар должностных лиц, изучения картографических и таксационных материалов района пожара выработать план тушения; если данных для принятия решения недостаточно, организовать наземную разведку по всему периметру (или наиболее опасной части) пожара; до окончательной разведки и принятия решения о плане тушения имеющиеся на пожаре силы и средства активно использовать для задержки распространения пожара на наиболее опасных его направлениях вблизи места нахождения этих сил и средств; получив необходимую информацию о пожаре и выработав план его тушения, сформировать группу управления тушением пожара, организовать расстановку имеющихся сил и средств пожаротушения согласно этому плану; определить потребность в дополнительных силах и средствах пожаротушения и, в случае необходимости, запросить дополнительные ресурсы; определить места высадки людей, размещения лагерей и организовать

их подготовку; обеспечить встречу прибывающих на пожар лесопожарных подразделений и постановку им тактических задач; организовать устойчивую оперативную связь с отрядами, командами, авиаотделением, оперативным районным штабом или подразделением министерства по чрезвычайным ситуациям; обеспечить своевременность учета выполненных работ; принимать меры по обеспечению безопасности всего персонала, занятого на пожаре, и соблюдению им правил техники безопасности, при необходимости организовать пункт медицинской помощи; предусмотреть пути выхода людей с пожара в полевой лагерь и создание нормальных условий отдыха; непрерывно следить за изменениями обстановки на пожаре и оперативно принимать соответствующие решения; информировать оперативный лесопожарный штаб в месте своего нахождения и сообщать ему о всех принимаемых решениях; запрашивать необходимые дополнительные силы и средства пожаротушения; использовать все местные средства связи для оперативного решения вопросов, связанных с тушением пожара; ставить перед подразделением министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) вопросы, касающиеся обеспечения задействованных на пожаре сил и средств продовольствием, таборным имуществом, медицинской помощью, средствами связи, горюче-смазочным материалом, а также участия десантников-пожарных в проведении работ по прокладке заградительных полос при помощи взрывчатых веществ и руководства бригадами привлеченных рабочих, если не хватает квалифицированных работников наземной охраны.

Необходимым условием успешной борьбы с лесными пожарами, особенно крупными, является правильная организация сил пожаротушения и структуры соподчинения организационных структур, которую можно менять в зависимости от размера пожара и его сложности, наличия сил и средств тушения (рис. 6.1, 6.2).

6.1.2. Классификация лесных пожаров по уровню сложности и площади, охваченной огнем

В оперативной отчетности лесной службы о горимости лесов лесные пожары подразделяют на *обычные пожары* – пожары, охватившие площадь до 25 га; *крупные пожары* – пожары, охватившие площадь более 25 га. В оперативной отчетности все характеристики о состоянии и динамике разрастания площади пожаров, а также предпринимаемых мерах по их тушению предоставляются по каждому крупному лесному пожару в отдельности, а по обычным пожарам – одной строкой суммарно по всем пожарам.

Классификация лесных пожаров основывается на учете возможности их тушения определенным количеством сил пожаротушения и площади, охваченной (пройденной) огнем.

Исходя из опыта организации работ по тушению лесных пожаров (Канада, Россия, США), наиболее приемлемой считается классификация лесных пожаров по уровням его сложности и величине площади, пройденной огнем, представленная в табл. 6.1.

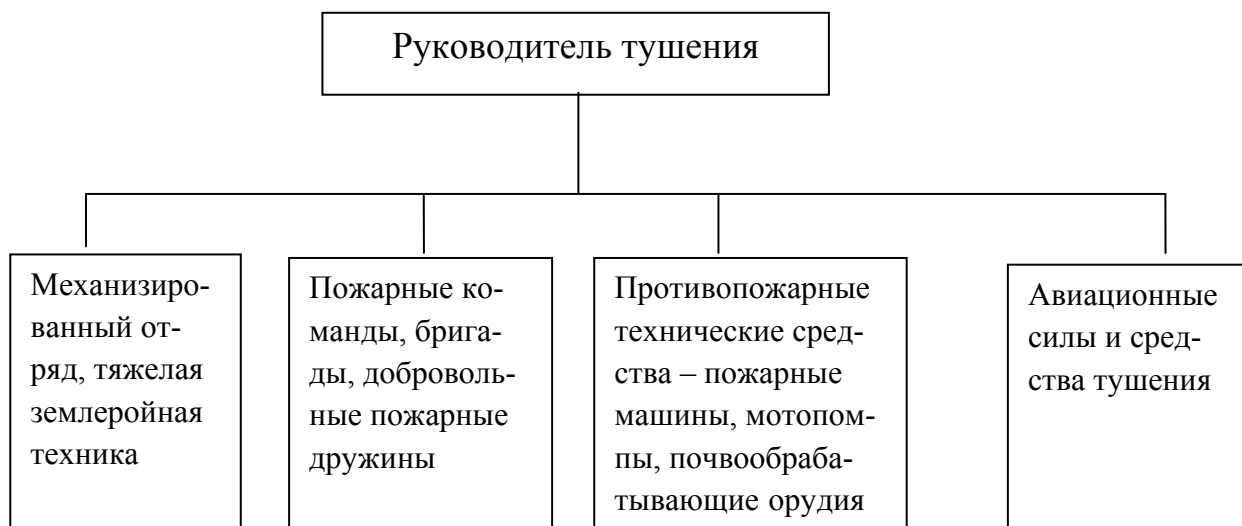


Рис. 6.1. Необходимые средства пожаротушения, находящиеся в подчинении руководителя тушения



Рис. 6.2. Структура соподчинения организационных структур при тушении лесных пожаров

Таблица 6.1

**Классификация лесных пожаров по уровню сложности и площади,
необходимое количество лесных пожарных и техники**

Уровень сложности лесного пожара	Минимально необходимое количество лесных пожарных и средств пожаротушения	Площадь, пройденная огнем к началу тушения, га
Начинающийся	Тушение могут обеспечить 2–3 человека с ручными средствами тушения	До 1,5
Малый	Тушение может обеспечить команда численностью 3–12 человек с использованием ручных средств тушения и одной-двух единиц пожарной техники	1,5–3,0
Средний	Тушение могут обеспечить две-три команды (20–30 человек) с использованием ручных и других средств тушения – 2–3 бульдозера, тракторы с лесными плугами, пожарный агрегат	3,0–25,0
Крупный	Тушение могут обеспечить шесть-девять команд (60–90 человек) с использованием технических и других средств тушения – 3–8 бульдозеров, тракторов с лесными плугами, пожарных агрегатов	25,0–200,0
Особо крупный	Тушение обеспечивается командами численностью более 100 человек с использованием технических и других средств тушения – 3–12 бульдозеров, тракторов с лесными плугами, пожарных машин и агрегатов	Более 200

6.1.3. Стратегия и тактика тушения лесного пожара

Стратегию и тактику тушения лесного пожара разрабатывает руководитель тушения на основе данных *разведки пожара*. Стратегия и тактика тушения пожара определяется:

- ✓ видом пожара (низовой, верховой, подземный);
- ✓ интенсивностью;
- ✓ площадью (га);
- ✓ конфигурацией пройденной огнем площади (округлая, эллиптическая, неправильная);
- ✓ лесорастительными особенностями массива: основная лесообразующая порода, состав, возраст, полнота, наличие подроста;
- ✓ распределением лесопокрытых и лесонепокрытых земель;
- ✓ видом горючих материалов (легковоспламеняющиеся, медленно горимые, сдерживающие горение);
- ✓ состоянием влажности горючих материалов (КПО);
- ✓ топографией местности: экспозицией склонов, на которых действует пожар, их крутизной и других характеристик, влияющие на распространение пожара;
- ✓ водными источниками и возможностью их использования для самолес-

тов-танкеров, вертолетов с ВСУ, мотопомпами, ручными огнетушителями;

- ✓ структурой почв: песок, суглинок, скелетные почвы;

- ✓ метеоусловиями: ветром (сила и направление), влажностью (точка росы), температурой;

- ✓ возможными подходами к пожару: вертолетами, самолетами, машинами, катерами и т. д.;

- ✓ угрозами: для жизни людей, уничтожением материальных и других ценностей;

- ✓ естественными и искусственными преградами: реки, ручьи, тропы, дороги, разрывы и др.;

- ✓ наличием сил и средств пожаротушения и резервами.

Различают три основных стратегии тушения пожара:

- ✓ тушение по всему периметру;

- ✓ охватом с фронта;

- ✓ охват с тыла и флангов (сведение на клин) (рис. 6.3).

Тушение по всему периметру – это одновременное тушение всей кромки.

Данную стратегию применяют при тушении слабых и небольших по площади пожаров, при наличии большого количества рабочей силы и техники.

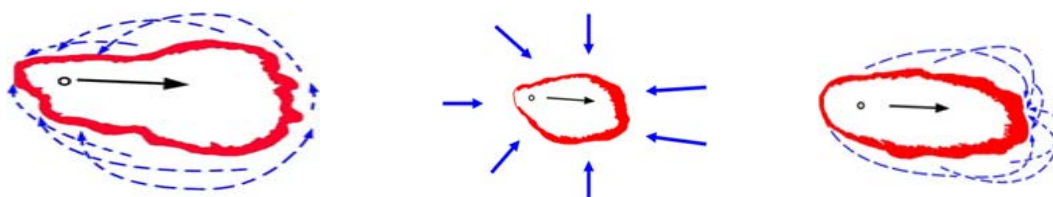


Рис. 6.3. Стратегии тушения пожара

Охват с фронта (фронтальная атака) – это стратегия быстрой остановки продвижения фронта пожара, когда нет возможности окружить пожар и погасить кромку в короткое время (0,5–1 ч). Фронтальная атака направлена против головы пожара. Тушение производят двумя группами, двигаясь от середины фронта, постепенно продвигаясь к флангам и к тылу. Осуществляя фронтальную атаку нельзя упускать из виду фланги, которые при изменении направления ветра могут стать фронтом.

Стратегия охвата с тыла и флангов (сведения пожара на клин) может применяться, когда есть возможность тушить кромку быстрее, чем она продвигается.

В каждой из стратегий можно использовать различные тактики или их совокупность.

6.1.4. Этапы тушения лесного пожара

Тушение каждого лесного пожара – это последовательное выполнение определенных операций. *Ликвидация пожара* состоит из следующих стадий:

- ✓ *остановка пожара* (прекращение пламенного горения по кромке);
- ✓ *локализация пожара* (предотвращение возможности его дальнейшего распространения);
- ✓ *дотушивание пожара* (ликвидация очагов горения внутри пожарища);
- ✓ *«окарауливание» пожарища* (предотвращение возможности загорания от скрытых очагов горения) (рис. 6.4).



Рис. 6.4. Операции, производимые при различных стадиях лесного пожара

При тушении различных пожаров эти стадии можно объединять.

Остановку пожара чаще всего производят в ночные и утренние часы, когда выпадает роса.

Локализацию пожара можно осуществить окапыванием, окаймлением канавой, окружением плужной бороздой, сдиранием покрова ручными орудиями (граблями, мотыгами) и механизмами (плугами, фрезами), также обнажени-

ем грунта при помощи взрывчатых веществ, обработкой полосы вокруг пожара химическими веществами прекращающими горение. При локализации необходимо тушить очаги, расположенные вблизи кромки, убирать валеж и сухостой с внутренней ее стороны. Подгнившие и другие ненадежные деревья по обе стороны кромки пожара спиливают и убирают для того, чтобы при их падении огонь не перебросился с выгоревшей площади на не затронутую пожаром.

Перед тем как дотушивать пожар, необходимо убедиться в надежности локализации пожара. Затем необходимо произвести осмотр площади, пройденной пожаром. Осмотр пожарища должен производиться под контролем и при участии руководителя тушения и его помощников. Крупным скоплениям горючих материалов дают выгореть, перед тем как начинать их дотушивание.

Дотушивание пожара производят, начиная от периферии пожарища к его центру. При крупных пожарах очаги, удаленные от кромки на расстояние более 100 м, можно окопать и оставить догорать.

При *окарауливании* пожарища рабочий должен знать границы своего участка и внимательно следить за возобновлением горения с внешней стороны кромки. Каждый такой очаг должен быть немедленно ликвидирован. В практике тушения пожаров часто случается возобновление недотушенных пожаров, которые иногда принимают катастрофические размеры. Поэтому окарауливание пожара – это необходимая мера, гарантирующая окончательное его тушение.

Способы тушения лесных пожаров. Известно, что остановить процесс диффузного горения можно путем изоляции реагирующих веществ, охлаждением реагирующих веществ и химическим торможением реакции горения. В зависимости от этого различают принципиальные способы прекращения горения лесного горючего материала, которые в обобщенном виде представлены на рис. 6.5.

На этом основаны 4 метода тушения лесных пожаров, которые применяют в настоящее время:

- ✓ захлестывание и забрасывание грунтом кромки низового пожара;
- ✓ прокладка минерализованных заградительных или опорных полос (канав);
- ✓ отжиг (уничтожение) горючих материалов перед фронтом пожара;
- ✓ тушение водой или растворами огнетушащих средств.

Эти способы тушения применяют либо по отдельности, либо совместно – все зависит от стратегии и тактики тушения пожара, т. е. от его вида, интенсивности и скорости распространения огня, окружающей лесорастительной среды, рельефа местности, метеорологических условий и наличия сил и средств пожаротушения.



Рис. 6.5. Способы и методы прекращения горения

6.1.5. Инструменты, оборудование и оснащение для тушения лесных пожаров

Ручные инструменты. Основными индивидуальными средствами, которые используют при тушении лесных пожаров в зависимости от условий, в которых действует лесной пожар, являются: лопата, топор, топор-кирка, комбинированный топор-лопата, мотыга, грабли обыкновенные, грабли специальные из проволоки и металлической пластины (одна сторона с зубцами, а вторая – мотыга), хлопушка из прорезиненной ткани и др.

Общие требования: ручки инструментов должны быть тщательно обработаны наждачной бумагой, иметь гладкую поверхность без трещин и задиров, хорошо пригнаны, желательно покрашены. Сами инструменты должны быть тщательно заточены и защищены от ржавчины при хранении, поскольку от состояния инструмента зависит производительность работ. В зависимости от способа доставки на пожар (пешком, на машине, на вертолете и других видах транспорта) инструменты должны быть упакованы либо в специальные чехлы для отдельных лиц, либо контейнеры, ящики и т. д. для группы, команды.

При заточке на точильном устройстве режущих инструментов необходимо избегать их перегрева. Обточку щек инструмента производить не менее чем на 2–3 см от режущей кромки (топор, топор-кирка). Насадку топоров нужно производить до заточки. При этом особое внимание обращается на надежность соединения топора с топорищем. Предварительно обработанное топорище над-

калывается по продольной оси, вставляется (загоняется с усилием) в отверстие обуха и расклинивается деревянным клином, затем эта часть топорщица обрезается ножовкой на расстоянии 1–1,5 см от обуха.

Зажигательные средства. Для выжигания горючих материалов на участках, не пройденных огнем внутри пожара, а также пала перед фронтом пожара применяют зажигательные аппараты (АЗ-1) фитильно-капельного типа, состоящие из резервуара (4–5 л) с горючей смесью (бензин с маслом) и шланга подачи смеси с горячей насадкой. Зажигательный аппарат закрепляют за рабочим, прошедшим специальный инструктаж.

В качестве зажигательных средств применяют зажигательные свечи, дающие при горении температуру более 150 °С в течение 8–12 мин. За это время можно поджечь горючий материал на протяжении 20–40 м. Применяют факелы из различных тканей, смоченных машинными маслами. В практике работ для поджигания применяют также подручные материалы, например, березовую кору, которую зацепляют в палке, поджигают и используют как факел.

Мотопомпы. В качестве переносных средств тушения используют мотопомпы типа МЛВ-2/1.2 на базе двигателя «Ветерок» или бензопилы «Тайга». Дальность подачи воды составляет 400 м, расход – 120 л/мин, давление до 1215,6 кПа (12 атм). Можно использовать и другие типы мотопомп: МЛН-25/0,25, МЛН-3/0Д МЛ-1/0,75. Комплект рукавов – всасывающий и 400 м выкидных. Обслуживают мотопомпы 2–3 рабочих.

Ранцевые лесные огнетушители. Наиболее распространены ранцевые огнетушители РЛО-М (заплечная емкость из прорезиненной ткани объемом 20 л, соединительный шланг и гидропульт (ручной насос) двойного действия. Дальность подачи жидкости концентрированной струей достигает 10 м, распыленной – 2–3 м. Воду можно использовать из любого водоема. К воде можно добавлять специальные вещества, усиливающие ее смачивающие свойства.

Воздуходувка. Для тушения (прекращения пламенного горения) кромки пожара на участках с легкими горючими материалами при высоте пламени 0,5 м и скорости распространения горения до 3 м/мин можно применять ВПЛ-2,5 (воздуходувка переносная лесопожарная). Она смонтирована на базе бензопилы «Тайга-214». Тушение производят направлением струи воздуха или воздуха с распыленной водой на основание пламени. Это обеспечивает сбивание пламени и очистку полосы от легких горючих материалов: они перемещаются в сторону выгоревшей площади. Скорость воздушного потока, создаваемого вентилятором воздуходувки, на расстоянии 2 м от кромки пожара, составляет 20 м/сек, что соответствует силе ветра при шторме. ВПЛ-2,5 можно также применять для раздувания горения при отжиге в беломошниках, брусничниках, черничниках и других типах леса при толщине напочвенного покрова до 10 см. Производительность при тушении воздушной струей – 0,85 км/ч, воздушножидкостной струей – 0,95 км/ч.

Переносные емкости для воды. Емкости из прорезиненной ткани РДВ-12, РДВ-30, РДВ-100 (цифра обозначает объем в литрах). Воду из указанных емкостей используют только для тушения пожаров.

Спальные принадлежности. Спальный мешок с вкладышами, надувной матрац.

Осветительные приборы. Для работы ночью и освещения палаток используют электрофонари и керосиновые фонари типа «Летучая мышь».

6.1.6. Способы тушения низовых пожаров

Захлестывание, сбивание и забрасывание грунтом кромки низового пожара. Захлестывание пламени на кромке пожара применяют в целях остановки продвижения огня и производят обычно веником из свежесломанных веток лиственных пород или другими подручными средствами, например, мешковиной, прорезиненной тканью либо другой материей, прикрепленной на палку. Сбивание огня на кромке пожара осуществляют при тушении низовых пожаров слабой и средней интенсивности. Удары по горячей кромке наносят резкими движениями под углом 30–45° к поверхности земли, прижимая при этом веник к земле и протягивая его в сторону пожарища. После каждого удара веник отряхивают над выгоревшей площадью от прилипших тлеющих углей. При этом способе тушения не только сбивается пламя, но и создается полоса без горючих материалов, которая, как и минерализованная полоса сдерживает дальнейшее распространение пожара.

Сбивание огня по кромке низового пожара производят также сильной струей воздуха.

Забрасывание кромки пожара грунтом применяют на легких песчаных и супесчаных слабо задернелых почвах, когда применение метода захлестывания огня малоэффективно, а быстрая прокладка заградительных полос невозможна. Для засыпки кромки грунтом берут грунт лопатой из прикопок и веером бросают на горящую кромку. Бросок следует направлять вдоль кромки или под углом к ней. Сначала грунтом сбивают пламя, а затем засыпают им тлеющую кромку сплошной полосой шириной 40–60 см и толщиной 6–8 см. Горящие пни, валежник, порубочные остатки и другие очаги засыпают грунтом полностью более плотным слоем.

Прокладка заградительных и опорных минерализованных полос и канав. Заградительные полосы – это полосы, которые обеспечивают остановку горения. Заградительные и опорные минерализованные полосы и канавы прокладывают для:

- ✓ локализации пожаров без предварительной остановки их распространения непосредственным воздействием на кромку;
- ✓ локализации пожаров, распространение которых было приостановлено;
- ✓ локализация подземных пожаров прокладкой канав;
- ✓ применения отжига от опорных полос.

Заградительные полосы прокладывают на некотором расстоянии вдоль периметра кромки пожара, создавая замкнутый контур, или отдельными отрезками, которые соединяются с естественными преградами: ручьями, болотами, дорогами и др. Это также обеспечивает окружение пожара и не позволяет ему распространяться за пределы образовавшегося барьера. Заградительные полосы должны иметь ширину от 0,5 до 3 м, а в условиях лесостепи до 10 м.

Для прокладки заградительных и опорных полос применяют почвообрабатывающие орудия и механизмы, а для создания канав – специальные плуги и канавокопатели (рис. 6.6). При отсутствии механизированных средств, нецелесообразности, или невозможности их применения (в случаях небольших пожаров, трудностей маневрирования из-за густоты древостоя и т. д.) заградительные полосы прокладывают с помощью ручного инвентаря путем удаления граблями напочвенного покрова (на легких почвах с незначительным покровом) или снятия дернины (лопатами, мотыгами) до минерального слоя (рис. 6.6). Заградительные и опорные минерализованные полосы и канавы прокладывают и с помощью взрывчатых материалов. Этот способ применяют преимущественно авиапожарные подразделения в зоне авиационной охраны лесов.

Минерализованные полосы до 15 м, как правило, не обеспечивают надежной остановки распространения горения, и выполняют роль *опорных полос*. То есть полос, которые являются рубежом, от которых начинается тушение отжигом, химическими растворами и другими способами.



Рис. 6.6. Прокладка заградительных полос

Отжиг (огневые способы тушения). Отжиг – это наиболее эффективный способ остановки распространения верховых, а также низовых пожаров высокой и средней интенсивности, когда непосредственное тушение кромки невозможно.

Пуск отжига производят от имеющихся на лесной площади естественных или искусственных противопожарных рубежей: дорог, троп, речек, ручьев, минерализованных полос. Если же таких преград нет, то вблизи пожара отжиг производят от опорных полос, шириной 0,3–0,5 м, которые специально прокла-

дывают вручную, или с помощью почвообрабатывающих орудий, взрывчатых материалов, растворов химических веществ и другими способами.

Зажигание напочвенного покрова при пуске отжига производят по самому краю опорной полосы, обращенной к пожару, без каких-либо промежутков. Для зажигания применяют специальные зажигательные аппараты. При их отсутствии можно использовать железнодорожные сигнальные свечи либо подручные средства – факелы из бересты или из ветоши, смоченной горючим, и т. п.

Пуск отжига следует производить против фронта низового пожара, а затем и против флангов. При слабых и средних низовых пожарах ширина полосы отжига перед фронтальной кромкой должна быть не менее 10 м, а при низовых пожарах высокой интенсивности и скорости ветра более 5 м/с – 30–50 м.

При верховых пожарах в зависимости от силы ветра и скорости распространения пожара необходимо успеть отжечь полосу перед фронтом шириной 100–200 м.

При расчете расстояния пуска отжига следует иметь в виду, что скорость его распространения в дневное время значительно ниже скорости распространения фронта пожара. Следовательно, необходимо чтобы расстояние от фронта пожара до опорной полосы было не менее 1 км. Наиболее удобным временем проведения работ по остановке верховых пожаров, являются вечер и раннее утро, когда интенсивность горения снижается.

Начинать пуск отжига следует против центра фронта пожара, в обе стороны по направлению к флангам, на которых распространение горения остановлено (или останавливается) другими способами.

Если остановить распространение горения на флангах и в тылу невозможно иными способами, то опорную полосу для пуска отжига нужно создавать в виде замкнутого контура, либо опорная полоса должна упираться в площадь уже пройденную пожаром, либо в широкие дороги, ручьи, болота, поляны и т. п., причем в последнем случае от границ этих площадей следует также пустить отжиг.

На прилегающей к опорной полосе территории по другую сторону от пожара нужно организовано тщательное наблюдение за тем, чтобы не допустить возникновения очагов горения от перелетающих через опорную полосу горящих частиц.

Для ускорения выжигания полосы в зависимости от вида пожара, скорости ветра, рельефа местности и характера лесных горючих материалов можно использовать различные способы отжига: при тушении верхового пожара наиболее целесообразно использовать *способ ступенчатого огня* (рис. 6.7, а).

Суть способа заключается в дополнении к основной опорной полосе двух других, которые прокладывают параллельно на расстоянии 15–30 м друг от друга. От каждой полосы производят отжиг, начиная с ближайшей к пожару.

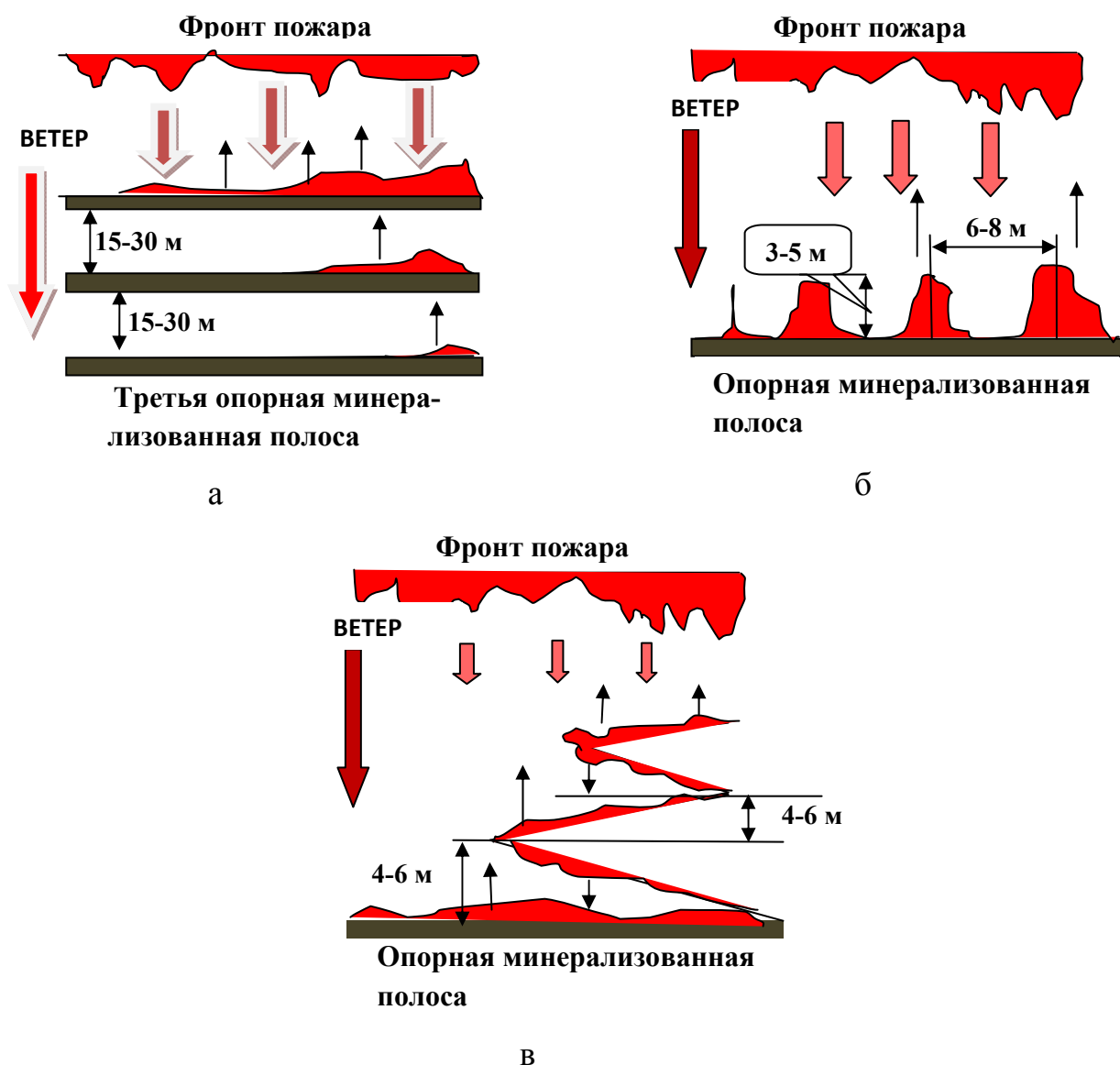


Рис. 6.7. Схема проведения отжига способом «ступенчатого огня» (а), способом «гребенки» (б), способом «опережающего огня» (в)

При тушении быстро распространяющихся низовых пожаров, в том числе на открытых участках (вырубках, редколесьях), где нет опасности перехода низового огня в верховой, ускоренное выжигание полосы осуществляют способом «опережающего огня» или способом «гребенки» (рис. 6.7, в, б). В первом случае сначала от опорной линии отжигают полосу шириной 2–14 м, затем, отступив от кромки огня отжига на расстояние 4–8 м производят дополнительное выжигание, но уже без опорных линий. При способе «гребенка» поджигание покрова производят не только вдоль опорной полосы, но и перпендикулярно к ней через каждые 6–8 м. Длина отрезков перпендикулярного отжига может достигать 5 м.

В практике тушения кромки пожаров *способом захлестывания* либо *засыпки грунтом*, в случаях, когда необходимо спрямить резкие и глубокие изгибы кромки огня или когда на кромке встречаются горящие кучи валежа, куртины хвойного молодняка и горючего подлеска, которые невозможно потушить захлестыванием или засыпать грунтом, следует применять частичный или локальный отжиг. Для этого горящие валеж и кустарниковые заросли обходят по чистому месту, ведя при этом поджигание покрова и одновременно захлестывая или засыпая грунтом внешнюю кромку подожженной полосы. Такой прием значительно ускоряет и упрощает тушение пожара и последующее его окарауливание.

Тушение пожаров водой. Наиболее эффективным и распространенным средством тушения лесных пожаров является вода. Ее можно применять для тушения низовых, верховых (устойчивых) и почвенных (подстилочных и торфяных) лесных пожаров. Причем в зависимости от вида пожара, обстоятельств, в которых он распространяется, наличия воды и вида используемых механизмов этим способом можно как остановить распространения кромки пожара, так и полностью ликвидировать пожар.

Используют воду из рек, озер, ручьев и других естественных источников, а также привозят в пожарных автоцистернах, в цистернах специальных лесопожарных агрегатов, в съемных цистернах разных типов и в других емкостях, в том числе авиационных.

Для тушения лесных пожаров водой используют насосные установки пожарных автоцистерн, пожарные мотопомпы (переносные, малогабаритные, прицепные), навесные насосы, работающие от моторов автомобилей, а также лесные огнетушители. Кроме того, для тушения низовых и торфяных пожаров применяют водораздатчики, поливочные машины и агрегаты для подачи (перекачки) воды к пожару.

Вода применяется в виде мощной компактной струи либо распыленной. Мощная компактная струя разрушает структуру горящих материалов, перемещивает их с грунтом и отбрасывает на территорию пройденную огнем. При мощном слое подстилки и на задернелых почвах ранцевая аппаратура менее эффективна. Здесь следует применять мощную сплошную струю с помощью насосных установок с большим расходом воды на квадратный метр горячей площади. Сплошные дальнобойные струи следует применять также при тушении сильных очагов горения (в скоплениях хлама и т. п.) и для тушения огня на высоких сухостойных деревьях.

При тушении пожаров водой используют мотопомпы, с помощью которых вода из водоисточников подается по пожарным рукавам. Наиболее употребляемые из них малогабаритные плавающие МЛП-0,2, МЛВ-1, МЛВ-2/12, МЛВ-22/0,25. В комплектующее оборудование мотопомпы входят: всасывающие, магистральные и рабочие пожарные рукава диаметром 51–26 мм; соединительные (переходные) головки для наращивания рукавов и крепления их к рабочим органам; пожарные стволы: дальнобойные (РС-50, РС-70) и комбини-

рованные для создания как сплошных, так и распыленных струй (РСК-50 и РСБ). Организуя тушение лесного пожара с подачей воды из имеющегося в лесу водоисточника, руководитель тушения должен:

- ✓ подобрать площадку у водоисточника для забора воды в соответствии с техническими требованиями эксплуатации мотопомп;
- ✓ определить направление прокладки магистральных рукавов, способы усиления подачи воды и порядок разворачивания работ при тушении пожара;
- ✓ рассчитать в каждом отдельном случае дальность подачи воды на кромку пожара в зависимости от способов подачи воды, превышения местности и технической характеристики насосов и комплектующего оборудования.

Площадка у водоисточника для установки насосного агрегата и его оборудования должна быть ровной с плотным грунтом. Ее высота над зеркалом водоема не должна превышать технически допустимую высоту всасывания, указанную в паспорте агрегата. Расстояние между насосом и забором воды должно соответствовать общей длине имеющихся в комплекте агрегата всасывающих рукавов. Магистральную линию следует прокладывать к фронту пожара по кратчайшему расстоянию, по возможности минуя резкие подъемы, спуски и повороты.

При прокладке магистрали на большие высоты, когда подача воды не может быть обеспечена одним насосом, применяют способ перекачки – последовательное соединение двух или более насосных агрегатов. При этом первые насосы работают на слив, перекачивая воду в установленные на магистральной линии промежуточные буферные емкости. Последний агрегат забирает воду из крайней емкости и подает ее на кромку пожара.

Расчет дальности подачи воды ведут в каждом отдельном случае, исходя из используемого насоса, диаметра насадок ствола, вида рукавов, с учетом удельного сопротивления рукавов и потери напора на преодоление превышения места пожара (точнее, превышение насадка ствола) над напорным патрубком насоса и трения воды о стенки рукавов, ориентируясь на оптимальные параметры рабочей струи, выбрасываемой из пожарного ствола. Практика тушения лесных пожаров показывает, что рабочая длина струи должна быть не менее 12–15 м, а расход воды – 2–4 л/с.

При установке мотопомпы, монтаже ее комплектующего оборудования и в период тушения необходимо строго соблюдать правила их эксплуатации:

- ✓ заборная часть всасывающей линии должна быть защищена сеткой, а в случае мелкого водоема и его сильного загрязнения она должна опускаться в специальной корзине;
- ✓ рукава магистральных и рабочих линий не должны иметь резких перегибов, заломов, не допускается их сдавливание (тяжелыми предметами или наезд транспорта);
- ✓ обслуживание насосного агрегата осуществляется квалифицированными рабочими, имеющими практический опыт работы.

Состав бригады в 6 человек может обеспечить работу агрегата с рукавными линиями общей длиной в 600 м. При длине свыше 600 м на каждые дополнительные 160 м рукавов состав бригады надо увеличить на одного человека.

В пересеченной местности (в горах) емкости рекомендуется устанавливать на возвышениях (водоразделах) вблизи кромки пожара. В этом случае необходимо иметь 200–300 м пожарных рукавов, по которым можно доставить воду к месту тушения самотеком для заправки лесных огнетушителей.

Тушение с применением химических веществ. Для усиления интенсивности огнетушащих свойств воды в нее добавляют различные химические вещества. Эти вещества и их смеси подразделяют на *смачивающие, огнетушащие (антипирены) и огнезадерживающие (ретарданты)*.

Смачивающие вещества – это поверхностно активные вещества (ПАВ). Они снижают поверхностное натяжение раствора и способствуют проникновению воды в мельчайшие поры. Из смачивающих веществ наиболее часто используют сульфанол. Это легкий желтый порошок, быстрорастворимый в воде. Его добавка в количестве 30 г на ведро воды (0,3 % по весу к воде или другим растворам) повышает смачивающие свойства. В качестве ПАВ можно использовать моющие средства типа «Прогресс», «Дон», «Астра», а также смачиватели группы ОП-7, ОП-10 и др. Водные растворы сульфанола и другие смачиватели незаменимы для борьбы с устойчивыми почвенными пожарами, особенно с торфяными, они способны быстро проникать в толстые слои торфа и лесные подстилки.

Воду со смачивателями следует применять при тушении низовых и почвенных пожаров, а также при дотушивании пожаров. С помощью ранцевых лесных огнетушителей (РЛО) можно тушить низовые пожары слабой и средней интенсивности. Применение ранцевой аппаратуры наиболее целесообразно при наличии вблизи пожара источников воды, а также в горных условиях, где использовать для тушения лесных пожаров грунт и почвообрабатывающие орудия в большинстве случаев невозможно и вода часто является почти единственным эффективным средством пожаротушения, особенно для тушения горения в расщелинах между камнями.

Растворы огнетушащих солей и растворы ПАВ готовят и хранят на пожарно-химических станциях в специальных емкостях и доставляют к пожару в цистернах пожарных машин, полиэтиленовых канистрах, а также непосредственно в резервуарах лесных огнетушителей или готовят на месте работ. При их хранении, транспортировке и использовании необходимо также строго соблюдать санитарно-гигиенические требования.

К *огнетушащим растворам* длительного действия относят водные растворы состава ОС-5. ОС-5 содержит 62–75 % диаммонийфосфата, 23–35 % карбамида (мочевины), 2–3 % сульфанола и 0,5 % красителя. Выпускается в виде порошка, легко растворимого в воде. Оптимальная концентрация в растворе – 13 %. Раствор хорошо тушит пламенную фазу горения и угли, является надежным средством при прокладке противопожарных заградительных полос.

Обработанные этим раствором лесные горючие материалы сохраняют свою способность не гореть до нескольких суток (практически до первого дождя). Опорные полосы для пуска отжига достаточно прокладывать шириной 0,3–0,5 м. Дозировка раствора на опорных полосах в зависимости от мощности напочвенного покрова должна быть от 0,5 до 1,5 литра на 1 м².

Для приготовления водных растворов химических веществ и применения их при тушении пожаров работники лесной охраны должны ознакомиться с характеристикой используемого химиката, методикой расчета его концентрации, технологией приготовления рабочего раствора, правилами хранения, транспортировки составов и техникой безопасности при работе с ними, назначением лесопожарного оборудования, его технической характеристикой и порядком работы с ним, технологическими схемами тушения лесных пожаров рабочими растворами. Необходимо приобрести практические навыки работы с лесопожарным оборудованием. Состав ОС-5 доставляют до места приготовления растворов в заводской упаковке. Рабочий раствор транспортируют на пожар в цистернах, баках, мягких емкостях и т. д.

Огнетушащий состав СО-К1 также можно использовать для прокладки заградительных и опорных противопожарных полос авиационными и наземными техническими средствами.

По внешнему виду состав СО-К1 представляет порошок светло-коричневого цвета с размером частиц 0,25–0,5 мм и включает следующие ингредиенты: глина бентонитовая – 89 %, водорастворимый модифицированный полимер «Унифлок» – 9 %, пигмент – 2 %. Отличительной особенностью является возможность его получения из доступного природного сырья (бентонитовая глина) с незначительными добавками, а также низкая стоимость в сравнении с составами, изготовленными на основе минеральных удобрений (диаммоний фосфата, карбамида и т. п.).

Высокая вязкость раствора (0,5 Па·с) позволяет снизить потери на распыление при сливе его с авиационных технических средств. Состав применяют в виде 8 % раствора, время приготовления, необходимое для получения геля с заданной вязкостью, составляет 0,5 ч. Дозировка раствора на напочвенном покрове, равная 2 л/м², позволяет обеспечить необходимый уровень огнезащитных свойств в течение 5–8 ч с момента его нанесения на напочвенный покров. Состав относят к разряду «кратковременного действия». Рабочий раствор готовят в специальных смесителях. Огнезащитный состав СО-К1 безопасен для лесной флоры и фауны, пожаро- и взрывобезопасен, экологически чист, при работе с ним не требуется особых мер предосторожности.

Огнезащитный состав СО-К2 используют для прокладки заградительных полос с помощью наземных и авиационных технических средств. По внешнему виду состав ОС-К2 представляет порошок белого цвета с размером частиц не более 0,5 мм и включает дигидрат сульфата кальция – 73 %, метилцеллюлозу – 9 %, триполифосфат натрия – 18 %. Отличительной особенностью состава является возможность использовать местные технические отходы, обладающие

огнезащитными свойствами, что позволяет снизить затраты при борьбе с лесными пожарами. Состав применяют в виде 15–16 % рабочего раствора, он имеет слабозагущенную консистенцию с вязкостью 0,4–0,5 Па·с. Это позволяет применять его как для наземного, так и для авиационного использования. Дозировка раствора на напочвенном покрове, равная 2 л/м² обеспечивает огнезащиту полосы в течение 6–8 ч с момента ее прокладки. Состав относят к разряду «кратковременного действия». Раствор можно готовить в любой емкости при слабом перемешивании. Огнезащитный состав С0-К2, изготовленный из нетоксичных отходов производства минеральных удобрений, может быть использован там, где нет необходимости применять дефицитные и дорогостоящие химические соединения.

В последние годы успешно применяют пенообразователи. Одним из наиболее эффективных является пенообразователь F-15 (FINIFLAM-FLORAUND F-15) немецкого производства, в виде концентрированного раствора. Пенообразователь F-15 используют как 6 % добавку к воде при тушении пеногенераторами, и как 0,5 до 3 % добавку к мотопомпам, ручным огнетушителям и к растворам при тушении с применением ВСУ и самолетов танкеров. Эффект тот же, что и при использовании огнетушащего раствора с 0,5 % фосгена (США).

Особенности тушения низовых пожаров под пологом леса. При тушении *слабых весенних низовых* пожаров, если имеется достаточное количество рабочих, его оцепляют по периметру. При недостаточном количестве рабочих – одна бригада сдерживает и тушит фронт пожара, а две другие, начиная с тыла, охватывают пожар с флангов, продвигаясь по мере тушения к фронту. Остановку распространения пожара можно производить захлестыванием огня на кромке ветвями, либо засыпкой его грунтом, либо обработкой кромки химикатами из лесных огнетушителей.

Иногда работы ведут двумя бригадами, которые движутся с тыла по флангам к фронту пожара, постепенно сжимая его с боков и сводя на «клин». При этом движение рабочих в каждой бригаде осуществляется в следующем порядке: рабочий, работающий сзади, окончив работу на своем участке, становится впереди бригады, следующий – на расстоянии 15–20 м от первого и т. д.

Для надежной локализации пожара одновременно с работой по остановке его распространения (а при недостатке рабочих – после остановки) расчищают поверхность земли вдоль кромки ручными инструментами до минерального слоя, прокладывают максимально спрямленную полосу, либо в таком же порядке узкую канаву. При возможности минерализованную полосу прокладывают с помощью взрывчатых материалов либо почвообрабатывающими орудиями.

При тушении *пожаров средней интенсивности*, распространяющихся по напочвенному покрову со скоростью 1–3 м/мин, рекомендуется сначала произвести остановку кромки пожара захлестыванием или засыпкой грунтом, либо опрыскиванием растворами химикатов из лесных огнетушителей.

Остановку распространения огня следует начинать охватом с фронта, что дает возможность уменьшить площадь, поврежденную огнем и сократить затраты

труда на тушение. Такие пожары обычно возникают в засушливые периоды весной и летом и сопровождаются частичным выгоранием подстилки и валежа.

В случае *низового пожара высокой интенсивности*, распространяющегося со скоростью более 3 м/мин, с высоким пламенем на фронте, следует принять меры к остановке его распространения путем пуска отжига против фронта от опорной полосы. На флангах и в тылу остановка производится посредством обработки кромки водой из лесных огнетушителей, либо грунтом путем охвата с тыла.

Окружение таких пожаров после их остановки заградительной минерализованной полосой является обязательным, причем полоса прокладывается ручными орудиями либо механизированным способом.

При *сильных низовых пожарах*, действующих под пологом леса в участках со скоплениями хвойного подроста или горючего подлеска, а также на захламленных участках, т. е. в условиях, когда имеется большая опасность перехода низового огня в верховой, способы остановки распространения горения ручными орудиями и ранцевой аппаратурой, описанные выше, неприемлемы из-за большой высоты пламени. Для тушения таких пожаров следует применять воду из баков автоцистерн, либо других агрегатов водного пожаротушения, или из имеющихся вблизи пожара водоисточников, а также производить отжиг от опорной полосы, проложенной не ближе 80–100 м от фронта и охватывающей затем фланги и тыл. При этом в случаях пожаров на участках с хвойным подростом и подлеском, нужно применять мелкораспыленную воду, а при горении древесного хлама – мощные сосредоточенные струи.

Прокладка заградительной минерализованной полосы вокруг пожара после его остановки обязательна, за исключением случаев, когда подачей воды из имеющихся вблизи водоисточников обеспечено полное тушение пожара, или когда опорная линия для пуска отжига состоит из надежных преград распространению горения.

6.1.7. Способы тушения верховых пожаров

Верховые *пожары слабой интенсивности*, возникающие в хвойных насаждениях с неравномерной сомкнутостью и мозаичной структурой, где верховой огонь распространяется только на участках с групповым расположением хвойного молодняка и в основном за счет поддержки низового пожара, могут быть потушены у заградительных рубежей мощными струями распыленной воды из пожарных авто- и тракторных цистерн.

Верховые *пожары средней и высокой интенсивности* тушат отжигом. Опорные полосы для отжига прокладывают вдоль фронта и флангов пожара в местах с наименьшим запасом горючего материала, на участках с преобладанием лиственных пород, свободных от хвойного подроста, валежа и хлама. В случае наличия последних – их убирают на полосе шириной 10–15 м вдоль опорной линии. В качестве опорных полос можно использовать дороги, противопожарные разрывы и другие заградительные барьеры.

Опорные полосы прокладывают с таким расчетом, чтобы до подхода фронта пожара можно было успеть отжечь полосу шириной не менее максимальной дальности разлета искр, т. е. 100–200 м. В целях ускорения выжигания полосы требуемой ширины целесообразно использовать способ ступенчатого отжига. В первую очередь принимают меры по остановке распространяющегося фронта пожара.

Отжиг начинают против центра фронта пожара две команды, которые расходятся по опорной полосе или по трассе отжига (при отсутствии опорной полосы) в противоположные стороны. Каждая команда вначале поджигает напочвенный покров на участке шириной 20–30 м. Следующий участок поджигают после того, как огонь отойдет от опорной полосы на 2–3 м. При изгибах полосы направление зажигания изменяют с учетом направления ветра. На каждые три-четыре участка оставляют караульного для наблюдения за ходом отжига и ликвидации очагов огня от искр, перелетевших через опорную полосу. Огонь на флангах и в тылу ликвидируют такими же способами, как и низовые пожары.

В первую очередь отжиг ведут на тех направлениях, где распространение пожара наиболее опасно, например, в лесу на горных склонах, на которых остановить огонь особенно трудно. Обязательно надо учитывать возможность изменения фронта пожара при перемене направления ветра и заранее предусматривать соответствующие меры. Следует избегать применения отжига в хвойном молодняке. В крайнем случае, отжиг пускают только от просек или других достаточно широких разрывов, так как иначе огонь отжига обязательно охватит кроны деревьев и не остановит пожар, а только усилит его.

В непосредственной близости от фронта верхового пожара наблюдается так называемая встречная тяга, т. е. поток воздуха в сторону пожара, что значительно ускоряет продвижение отжига. Однако задерживать начало отжига до появления встречной тяги ни в коем случае не следует, поскольку кромка верхового пожара очень извилиста, поэтому встречная тяга не возникает одновременно перед всем фронтом пожара.

Особое внимание при тушении верховых пожаров должно быть обращено на организацию своевременного обнаружения и ликвидации очагов загорания, возникающих на расстоянии 100–200 м, а иногда и более, за опорной полосой от перелетающих горящих частиц при подходе фронта.

Наиболее оптимальным временем применения отжига является вечер и раннее утро, когда снижается интенсивность горения и такие пожары в большинстве случаев полностью или частично переходят в низовые. В этих условиях пожар может быть остановлен выжженной полосой значительно меньшей ширины и пуск отжига может быть произведен на более близком расстоянии от пожара.

После остановки пожара необходимо усилить его локализацию опашкой, особенно у тех частей кромки, где для пуска отжига создавались опорные линии.

В связи с быстрым скачкообразным распространением беглых верховых пожаров руководитель тушения должен особое внимание уделять безопасности рабочих, занятых на тушении. Протяженность скачков при ветре более 5 м/с может достигать 120 м, а иногда и более. Поэтому рабочие не должны находиться ближе, чем за 250 м от фронта пожара (т. е. на расстоянии не менее удвоенной длины возможных скачков).

Взрывные методы тушения верховых пожаров. При внезапном стихийном возникновении одновременно низового и верхового пожаров принимают экстренные меры, к которым относится локализация пожара взрывным способом. Для локализации лесных пожаров применяют взрывы открытых и заглубленных зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Заглубленные заряды (разобщенные, сосредоточенные, либо вертикально-удлиненные, либо непрерывные горизонтальные цилиндрические и щелевые) используют для строительства противопожарных каналов и водоемов массовыми взрывами на выброс.

Метод взрывов открытых зарядов применяют, главным образом, в том случае, когда требуется сбить ударной волной пламя верхового лесного пожара. Поскольку скорость распространения взрывной волны намного превышает скорость распространения пожара и работа 1 кг ВВ (например, аммонита 6ЖВ) составляет $3 \cdot 10^5$ кгм/кг, достаточно в одном открытом (накладном) заряде сосредоточить 80–100 кг ВВ для уничтожения пламени в радиусе 100 м и более.

6.1.8. Способы тушения пятнистых пожаров

Пятнистые пожары обычно образуются из основного верхового (а нередко и сильного низового) пожара вследствие разлета горящих частиц от его фронта. Поэтому при сильных низовых и слабых верховых пожарах ширину выжигаемой полосы при локализации пожара отжигом следует увеличивать примерно на 100 м, а при верховых пожарах средней силы – на 200 м, чем обычно рекомендуется.

При штормовом ветре (более 15 м/с) скорость распространения пятнистых пожаров может достигать даже нескольких десятков км/ч, главным образом, за счет возникновения (нередко на расстоянии до 1 км от действующих пожаров) многочисленных новых загораний. В результате создается большая опасность попадания в кольцо огня групп рабочих, занятых тушением, а также расположенных в лесу населенных пунктов, промышленных объектов, строений и т. п.

Практически борьба с пятнистыми пожарами днем может заключаться лишь в сдерживании его флангов с помощью средств водного пожаротушения и отжигов. Остановка фронта днем, как правило, невозможна, причем эта работа будет сопряжена с большой опасностью для жизни рабочих.

Руководитель тушения должен заблаговременно сообщить местной администрации о необходимости эвакуации людей, животных и материальных ценностей из лесных поселков и других объектов, расположенных переддвигающимся фронтом такого пожара. При этом необходимо разработать план ту-

шения и наметить несколько рубежей для остановки пятнистого пожара в ночные и утренние часы, когда утихнет ветер, снизится температура воздуха и пожар ослабеет, в значительной части перейдя в низовой. Остановку пожара в это время следует производить отжигом в том же порядке, как и верхового.

Остановить распространение развившегося пятнистого пожара днем можно в случае, если пожар подойдет к обширным площадям малогоримых насаждений и ослабеет. Кроме того, тушить такой пожар днем можно также искусственно вызванными осадками, однако для этого необходимы соответствующие условия (наличие кучевых облаков, подготовленного персонала и оборудования).

6.1.9. Способы тушения почвенных (подземных) пожаров

Подземные пожары обычно носят затяжной характер. Тушение подстилочных пожаров следует производить путем их опашки или окапывания, а также посредством применения мощных струй воды с помощью насосных установок.

В связи с медленным распространением пожара последовательность обработки его тактических частей (фронт, фланги, тыл) значения не имеет.

Очаг только что возникшего торфяного пожара может быть быстро потушен отделением слоев горящего торфа от краев образующейся воронки и складыванием их на выгоревшей площади. Так как в верхних слоях торфа много корней деревьев и кустарников, указанную работу следует выполнять топорами или очень острыми лопатами. Если имеется возможность, то края воронки следует обработать водой со смачивателем или химикатами из лесных огнетушителей.

Кромку очага пожара можно загасить с помощью насосных установок струями воды со смачивателем без удаления горящего торфа.

Для тушения почвенных (подстилочных и торфяных) пожаров, образовавшуюся спекшуюся корку разбивают мощными струями воды со смачивателем, превращая горящий торф в жидкую массу, и сильно промачивая торф, прилегающий к очагу. При таком способе требуется расход воды до 50 л на 1 м² горячей кромки, в связи с чем тушение обычно производят водой из имеющегося вблизи пожара источника воды. Более эффективным для локализации и тушения водой торфяных пожаров является применение торфяных стволов (ТС-1 и ТС-2), с помощью которых в почву вокруг очага нагнетается под давлением 30–40 м водяного столба вода со смачивателем. С применением ствола ТС-1 можно тушить пожары с глубиной прогорания 1,2 м, а ствола ТС-2 – до 2 м.

При применении торфяных стволов ТС-1 и ТС-2 для полной ликвидации очага пожара необходимо обработать полосу шириной 0,7–0,8 м, прилегающую к кромке очага. Для создания такой полосы скважины следует располагать в два ряда. Первый ряд прокладывают на расстоянии 0,1–0,2 м от видимой кромки, а второй – на 0,3–0,4 м от первого. Скважины в каждом ряду создают на расстоянии 0,3–0,4 м друг от друга. При нагнетании в стволы воды под давлением 3–4 атм. (30–40 м вод. ст.) расход воды со смачивателем составляет 35–42 л/мин. В

табл. 6.1 приведены данные зависимости времени подачи воды от глубины прогорания торфа.

Таблица 6.1

Зависимость времени подачи воды от глубины прогорания торфа

Глубина прогорания торфа, м	0,2–0,4	0,4–0,7	0,7–1,2	1,2–2,0
Время подачи жидкости, с	5–6	7–9	10–12	14–16

При отсутствии источника воды вблизи очага пожара его можно локализовать канавой.

В случаях многоочаговых торфяных пожаров, обычно возникающих на торфянистых почвах в результате низового пожара, тушение возможно лишь путем локализации всей площади, на которой находятся очаги. Такую локализацию следует производить с помощью канавокопателей или взрывчатых материалов с подачей затем в проложенную канаву воды из местных источников воды. При наличии достаточного количества средств водного пожаротушения одновременно следует производить и обработку водой поверхности горящего торфа.

Большую помощь в тушении торфяных пожаров могут оказать пожарные команды, имеющие на вооружении пожарные насосные станции. Так, например, пожарная насосная станция ПНС-110(131) (ТУ 22.109 87-73) может подавать воду из открытых источников по магистральным рукавным линиям диаметром 150 мм на большие расстояния. Станция может непосредственно питать четыре пожарных автомобиля с насосными установками производительностью около 40 л/с на расстоянии 4–5 км, заполнять искусственные водоемы или канавы, прорытые вокруг торфяных пожаров.

Однако следует иметь в виду, что торф имеет низкую смачиваемость водой, и поэтому вода, не проникая в торф, может распространяться в стороны от насадки ствола, не попадая в очаг возгорания.

При отсутствии воды для тушения горящего торфа в глубоких слоях предлагают еще один способ. Суть его заключается в тушении горящего торфа с помощью дыма и углекислого газа.

Вначале с помощью тепловизоров необходимо определить ядро и границы подземного очага горения торфа. Затем, как при тушении горящего торфа с помощью торфяных стволов с водой, пробить отверстия в месте горения и закачать туда дым от дымовых шашек. Дым от дымовых шашек, постепенно проникая во все поры торфяной массы, где имеется кислород для горения, разбавляет этот кислород до пропорций, когда кислорода становится недостаточно для горения (менее 14–15 % от всего объема воздуха).

После этого в отверстие подают углекислый газ от углекислотных огнетушителей, снабженными специальными торфяными стволами. Углекислый газ, находящийся в баллонах под большим давлением при резком расширении охлаждается до температуры $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$. При выбросе углекислого газа в нижние

слои горящего торфа, он, хорошо распространяясь во внутреннем слое торфа, охлаждает горящий торф до температуры ниже температуры его самовозгорания и тем самым локализует очаг горения.

Особенно важен тот факт, что данным методом можно пользоваться круглогодично. Тогда как тушение глубоких торфяных пожаров зимой с применением воды невозможно из-за того, вода в пожарных машинах замерзает.

Тушение заглубившихся очагов горения торфа можно проводить также с помощью взрывов (рис. 6.8).

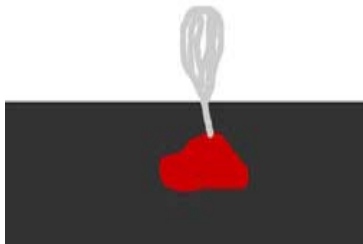
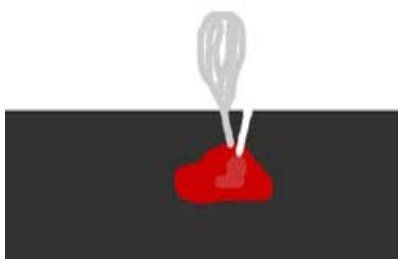
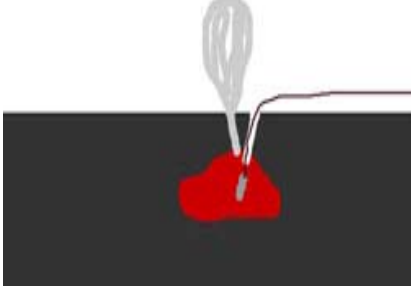


	<p><i>Первый этап</i> – обнаружение подземного очага горения. Обнаружить подземный очаг горения можно по месту выхода дыма из земли или с помощью тепловизора. Если имеется тепловизор, нужно определить с его помощью границы очага. Это нужно для расчета мощности взрывчатки</p>
	<p><i>Второй этап</i> – бурение шурфа для закладки взрывчатки. Место для бурения шурфа надо выбрать в центре очага горения, чтобы сила взрыва распределилась равномерно по периметру очага. В момент бурения шурфа, чтобы не провалиться вниз, необходимо на поверхность земли в месте бурения положить жерди и ходить только по ним</p>
	<p><i>Третий этап</i> – закладка взрывчатки в центр очага горения. Перед закладкой взрывчатку необходимо обмотать несколькими слоями асбестового листа, а провод изолировать резиновым шлангом с целью избежания преждевременного взрыва из-за высокой температуры внутри очага горения</p>
	<p><i>Четвертый этап</i> – проведение взрыва. Перед тем как взорвать очаг, всех участников тушения удалить на безопасное расстояние.</p>
	<p><i>Пятый этап</i> – заливка воронки и выброшенного грунта мощной струей воды из пожарных шлангов.</p>

Рис 6.8. Этапы тушения торфяного пожара с помощью взрыва

После ликвидации пожара площадь, пройденную огнем, необходимо периодически осматривать до выпадения интенсивных осадков.

6.1.10. Способы тушения лесных пожаров в гористой местности

Применение мощной землеройной и почвообрабатывающей техники для борьбы с лесными пожарами в горах ограничено, а на каменистых почвах вообще исключается. Использование здесь автоцистерн и мотопомп малоэффективно из-за невозможности подачи воды на высоту более 90–100 м. Поэтому для тушения пожаров в горных лесах следует широко применять отжиг с прокладкой опорных полос растворами химикатов из лесных огнетушителей, взрывным способом (где это возможно), а также ручными орудиями – лопатами, мотыгами, граблями. Транспортными средствами для доставки воды при тушении пожаров в горах являются главным образом вертолеты, снаряженные водосливными устройствами или мягкими емкостями. В особо ценных и опасных в пожарном отношении горных лесах следует заранее в порядке профилактики создавать, густую сеть пожарных водоемов, в том числе в виде запруд, а также площадок для вертолетов.

Слабые низовые пожары в горах останавливают методом захлестывания кромки, охватывая пожар с флангов и продвигаясь к фронту. При тушении кромки рекомендуется использовать также частичный отжиг и опрыскивание растворами химикатов из лесных огнетушителей.

Низовые пожары средней и высокой интенсивности, а также *верховые пожары* останавливаются отжигом. Намечать рубежи и прокладывать опорные полосы для пуска отжига необходимо при строгом учете рельефа, так как именно рельефом определяется в горах поведение пожара.

При прокладке опорных полос ручным инструментом (применять который в горных лесах приходится особенно часто) важным вопросом является правильная организация работы. Наиболее рациональным является движение группы рабочих по намеченной линии в следующем порядке: впереди рабочие с топорами и пилами для рубки и расчистки трассы, за ними рабочие с граблями для удаления покрова, затем рабочие с мотыгами и лопатами для прокладки минерализованной полосы или канавы, наконец, рабочие для пуска отжига.

При составлении плана остановки пожара в горных лесах руководитель тушения обязан особое внимание обратить на оценку прогноза распространения пожара. Для этого необходимо учитывать три момента:

- ✓ характер распространения пожара по рельефу и его главное направление;
- ✓ степень пожарной опасности участков, окружающих пожар;
- ✓ скорость распространения пожара и ее колебания под влиянием изменяющихся условий.

Для расчета скорости пожара в зависимости от изменения крутизны склона, скорости ветра, влажности воздуха рекомендуется использовать таблицу ко-

эффициентов относительного влияния этих факторов на скорость распространения пожара.

Скорость пожара при его переходе с горизонтальной поверхности на крутой склон может возрасти в 5–10 и более раз, в зависимости от крутизны склона. Такое увеличение скорости очень опасно для работающих на тушении людей. Поэтому останавливать пожар, поднимающийся в гору, рекомендуется на пологом склоне, со средним уклоном 15° и менее, а также на водоразделах и на границах негоримых участков.

Руководитель тушения должен учитывать, что пожарная опасность участков в горных лесах зависит, прежде всего, от их местоположения. Быстрее всего просыхают крутые склоны южных и западных экспозиций. В высокогорье, при наличии снегового пояса, пожары весной и осенью могут распространяться только по долинам и нижним частям макросклонов. Ниже влияния снегового пояса пожары преимущественно распространяются по верхним частям южных и западных склонов, вдоль гребней и водоразделов. Они обходят на склонах сырые лощины и не переходят на крутые облесенные северные и восточные склоны. Опорная полоса для отжига при таких условиях должна прокладываться поперек водоразделов. Пуск отжига необходимо начинать с самой верхней точки, спускаясь вниз по противоположному склону.

Летом и в начале осени, особенно при засушливой погоде, пожары уже не носят локального характера и могут распространяться как поперек водоразделов, так и переходить через долины. При таком распространении пожара опорные полосы для пуска отжига можно прокладывать или по водоразделам, или по дну долин.

По водоразделам опорные полосы следует создавать лишь в том случае, если пожар в силу каких-либо причин (небольшая крутизна склона, повышенная влажность воздуха, малогоримые насаждения) поднимается по склону медленно. При этом пуск отжига должен производиться с таким расчетом, чтобы перед кромкой пожара была выжжена полоса шириной не менее 100 м. Самое удобное место для прокладки опорной полосы с целью быстрого выжигания – за гребнем или в долине ручья.

На склонах круче 20° появляется опасность возникновения очагов горения за опорной полосой от скатывающихся горящих шишек и т. п. В таких случаях опорную полосу следует прокладывать в виде канавы или в местах, где склон пологий.

При быстром распространении пожара вверх по склону его останавливают лишь после того, как он перевалит через гребень и спустится по противоположному склону к долине. Отжиг пускают навстречу пожару из долины, используя в качестве опорных полос ручьи, реки, участки сырой почвы на дне долин и распадков.

Если пожар распространяется вдоль по долине, для прокладки опорных полос следует использовать боковые распадки долины.

При тушении пожаров в горных лесах особенно важным является соблюдение некоторых специальных правил техники безопасности. Необходимо, например, иметь в виду, что весьма опасной является лощина между двумя грядками или отрогами, по которым быстро поднимаются «головы» пожара. Нельзя также находиться выше кромки пожара на крутом (более 20°) не горевшем склоне, особенно если склон покрыт хвойным молодняком, кустарником и скоплениями других горючих материалов. Наиболее же опасными местами являются лощины, ложбины и распадки с крутым подъемом в тот момент, когда пожар распространяется по ним вверх.

6.1.11. Способы тушения пожаров на не покрытых лесом площадях

На участках с несомкнувшимися хвойными молодняками, или с зарослями высокогоримых кустарников, на захламленных вырубках, на участках с погибшими насаждениями (гари, шелкопрядники, ветровальники и т. п.) пожары могут распространяться с большой скоростью. Причем вследствие разбрасывания ветром горящих частиц впереди фронта пожара нередко возникают *пятнистые загорания*, что резко ускоряет распространение горения по площади.

Останавливать такие пожары следует пуском отжига, причем, учитывая большую скорость их распространения, следует отступить перед фронтом пожара для пуска отжига с таким расчетом, чтобы успеть выжечь полосу шириной не менее 100 м.

В качестве опорных полос рекомендуют использовать уже имеющиеся барьеры (дороги различного назначения, реки и т. д.), а где их нет – необходимо прокладывать минерализованные полосы землеройной или почвообрабатывающей техникой.

Большое внимание при тушении таких пожаров следует уделять организации наблюдения за территорией позади отжига в целях своевременного обнаружения и ликвидации возникающих очагов загорания от перелетающих искр, горящих углей, веточек и т. п. Отжиг рекомендуют проводить в вечерние часы, с последующим обязательным окарауливанием локализованной кромки пожара в течение всей ночи и далее.

На лугах, пастбищах и степных участках весной и осенью обычно возникают беглые низовые пожары, которые при ветреной погоде могут распространяться со скоростью более 5–6 км/ч. Лесопожарные вездеходы являются наиболее эффективным средством тушения таких пожаров. Весьма высокий эффект при тушении кромки огня таких пожаров достигается также при использовании воздуходувок, созданных на базе бензопилы «Урал», особенно на участках с травяным напочвенным покровом.

Для остановки быстро распространяющейся кромки огня следует также применять отжиг, используя в качестве рубежей дороги, тропы, речки или искусственно созданные с помощью почвообрабатывающих орудий преграды. В безветренную погоду, а также в вечерние и утренние часы кромку огня можно тушить захлестыванием или заливкой водой из лесных огнетушителей. Пожары

на моховых болотах и в притундровых лесах следует тушить захлестыванием кромки, заливкой ее водой из лесных огнетушителей и с помощью мотопомп.

На участках с зарослями кустарников рекомендуют применять частичный отжиг, а в местах интенсивного развития мохового покрова – взрывчатые материалы.

6.1.12. Способы тушения крупных пожаров

Крупные пожары в большинстве случаев возникают в засушливые периоды и ветреную погоду. В разных частях периметра вследствие наличия большого разнообразия горючих материалов возникают пожары разных видов и интенсивности, формируется ряд самостоятельных фронтов с высокой изрезанностью и извилистостью кромки огня. Это обуславливает необходимость использования при ликвидации таких пожаров разных технических средств и тактических приемов. При их выборе следует также учитывать наличие сил и средств борьбы, текущие и прогнозируемые погодные условия.

Крупными считают пожары, распространившиеся на значительных площадях, для тушения которых сил и средств самих лесхозов и авиаотделений недостаточно, в связи с чем, в помощь им привлекают население, силы и средства местных организаций и учреждений, а при необходимости – невоенизированные формирования гражданской обороны и воинские подразделения.

При тушении крупных пожаров прежде всего должны быть правильно организованы руководство и управление значительным числом людей, действием отрядов, команд (бригад), обеспечены согласованность и связь между отрядами.

Периметр крупного пожара рекомендуют разделить на отдельные секторы и участки по имеющимся на местности рубежам (ручьи, реки, болота, широкие дороги) с таким расчетом, чтобы прорыв пожара на одном из участков не вызвал необходимости изменения плана тушения и перегруппировки сил и средств на соседних участках.

Если пожар действует днем в благоприятных для его распространения метеорологических условиях, а рабочих и средств пожаротушения недостаточно, следует перенести тушение на вечер. Попытки остановить распространение пожара днем в таких условиях, как правило, не имеют успеха, тогда как вечером появляется реальная возможность вести успешную борьбу с пожаром имеющимися силами и средствами. Дневное время лучше использовать на подготовительные работы: рекогносцировку, составление плана борьбы, подвоз средств пожаротушения, питьевой воды и т. п.

Днем при неблагоприятных для работы условиях вести борьбу с пожаром необходимо только на тех участках, где огонь может нанести большой ущерб (хвойные молодняки, лесные культуры и др.).

Для тушения крупных лесных пожаров требуется значительное количество воды. Для подачи воды на большие расстояния используют пожарные насосные станции и полевые магистральные трубопроводы с перекачивающими

насосными установками. Опыт борьбы с лесными и торфяными пожарами позволил выработать несколько схем развертывания трубопроводов (рис. 6.9).

Развертывание одной линии трубопровода (см. рис. 6.9, а) применяют в тех случаях, когда необходимо подать сравнительно небольшое количество воды для тушения или локализации очага пожара, не представляющего опасности для других объектов, а также когда не имеется достаточных сил и средств для развертывания большого количества линий трубопровода одновременно.

Развертывание двух линий трубопровода с разных направлений или по одному магистральному направлению (см. рис. 6.9, б) применяют в случаях, когда требуется в короткий срок подать большое количество воды для тушения одного крупного очага пожара, который представляет опасность для соседних участков.

Развертывание трубопровода через очаг пожара по мере подавления огня (см. рис. 6.9, в). Эта схема развертывания рекомендуется для тех очагов пожара, ширина которых составляет не более 800–1000 м. По оси очага пожара прокладывают магистральную линию трубопровода, к которой по достижении границы зоны горения присоединяют пожарные рукава со стволами. По мере необходимости система подачи воды наращивается пожарными рукавами до 500 м. Огонь можно тушить в секторе радиусом до 500 м с центром в точке распределения воды при выходе из трубопровода. После тушения огня в данном секторе производят наращивание трубопровода и тушение огня продолжают на очередной площади.

Указанная схема развертывания применима для тушения самых разнообразных пожаров. В сложных условиях местности схему развертывания трубопровода и рукавных линий следует предусматривать такой, чтобы сократить маневр трубопроводом и, напротив, всячески стремиться к увеличению маневра более подвижными рукавными линиями.

Развертывание нескольких отводов от магистральной линии трубопровода (см. рис. 6.9, г) применяют в том случае, когда очаг имеет большие размеры по фронту и огонь невозможно погасить, наращивая в глубину очага только одну линию трубопровода. В этом случае на границе очага пожара развертывают перпендикулярно к основной линии трубопровода коллектор с тройниками, а от тройников в глубь очага – трубопроводы, к концам которых подсоединяют пожарные рукава со стволами.

Возможен и другой вариант развертывания: в глубь очага пожара развертывают одну магистральную линию трубопровода, а через каждые 300–400 м перпендикулярно к ней на ширину очага последовательно развертывают коллекторы, на которых монтируют тройники и переходники для присоединения пожарных рукавов со стволами. Процесс наращивания линии трубопровода и развертывания коллекторов продолжают, пока не будет потушен весь очаг пожара.

Коэффициент полезного действия (КПД) процесса тушения пожаров твердых горючих материалов водой, особенно, при тушении лесных пожаров составляет всего 1–2 %. То есть если сравнивать теоретически рассчитанное

количество воды в литрах, необходимое для прекращения огня, с тем, что фактически затрачено при тушения пожара, то потери воды в процессе тушения составляют 98–99 %.

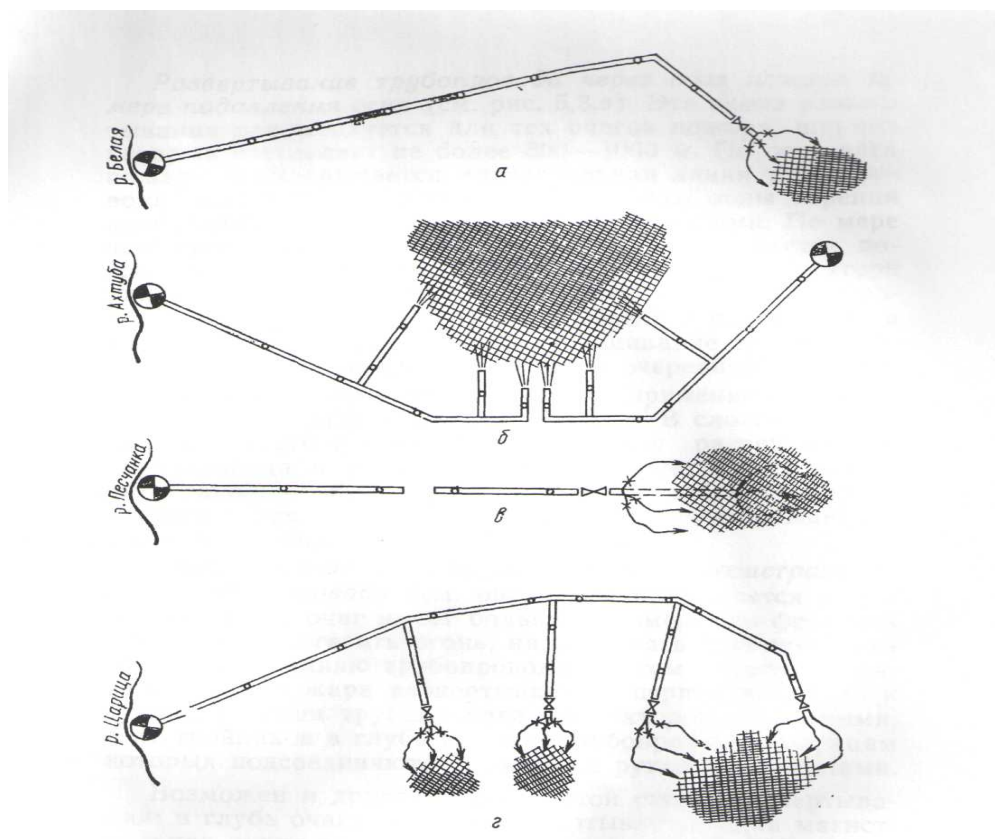


Рис. 6.9. Схемы развертывания трубопроводов:

а – развертывание одной линии трубопровода; *б* – развертывание двух линий трубопровода с разных направлений; *в* – постепенное наращивание линии трубопровода по мере подавления огня; *г* – устройство ответвлений от одной линии трубопровода к нескольким очагам пожара

6.2. Тушение лесных пожаров с помощью авиационных средств

К авиационным средствам тушения лесных пожаров в полете относят:

- ✓ самолеты-танкеры (Ан-2П, Ан-26П, Бе-12П, Бе-200);
- ✓ вертолеты (Ми-6, Ми-8, Ми-8Т, Ка-32) с емкостями на внешней подвеске (П-100, ВСУ, ВСУ-3, ВСУ-5);
- ✓ самолеты, оборудованные системой искусственного вызывания осадков.

Для тушения удаленных, быстро распространяющихся лесных пожаров в районах авиационной охраны лесов, а также пожаров, действующих на участках лесного фонда, загрязненных радионуклидами, применяют самолеты-танкеры взлетающие с сухопутных аэродромов и гидросамолеты (амфибии) оборудованные специальными емкостями для забора, перевозки и слива воды и

огнетушащих составов ОС-А1 и ОС-А2 на кромку пожара или создания перед фронтом пожара заградительной полосы, а также вертолеты с выливными устройствами.

С помощью применяемых для тушения с воздуха самолетов и вертолетов решают следующие задачи:

- ✓ тушение кромки горения на отдельных участках пожаров;
- ✓ задержка распространения пожара;
- ✓ оказание помощи пожарным в тушении очагов сильного горения;
- ✓ предупреждение перехода низового пожара в верховой;
- ✓ придание огнестойкости смежным с пожаром насаждениям;
- ✓ помощь наземным силам в повышении надежности создаваемых противопожарных барьеров;
- ✓ тушение начавшихся (точечных) лесных пожаров в недоступной горной местности.

Возможность и целесообразность применения авиационных методов тушения в каждом отдельном случае решают руководители соответствующих органов управления лесным хозяйством в субъектах Российской Федерации и обслуживающих баз авиационной охраны лесов.

В районах авиационной охраны лесов при тушении лесных пожаров командами авиапожарных применяют непосредственное тушение с самолетов и вертолетов.

Исходя из опыта российских, канадских и американских специалистов, применение авиации должно обеспечить выполнение следующих задач:

- ✓ доставку и высадку к местам пожаров команд и пожарного оборудования;
- ✓ задержку распространения пожара путем сброса огнетушащей жидкости;
- ✓ оказание помощи пожарным в тушении отдельных очагов сильного горения;
- ✓ предупреждение перехода низового пожара в верховой, и придание огнестойкости смежным с пожаром насаждениям;
- ✓ оказание помощи наземным силам для повышения надежности создаваемых ими противопожарных барьеров.

Историческая справка. Наиболее широкое распространение метод тушения лесных пожаров с самолетов получил в США и Канаде. При этом, начиная с 1944 г., на тушении применяют гидросамолеты, амфибии и самолеты, взлетающие с сухопутных аэродромов, с баками емкостью от 640 до 12 тыс. т. Однако оптимальным считают лесопожарный самолет СЛ-215 с полезной нагрузкой огнегасящей жидкости 5,5 т. Это двухмоторная лодка амфибия, забирающая воду при взлете из крупных озер, рек и морских заливов при высоте волны до 1,2 м. Имеет запас топлива на 3,5 ч при полной загрузке и скорости полета 240 км/ч.

Вода, сливаемая с воздушных танкеров на кромку лесных пожаров, в обязательном порядке должна иметь добавку веществ, повышающих ее огнетушащие свойства (в Канаде – фосген, в РФ – ОС-А1 и ОС-А2).

В России метод тушения с воздушных судов прошел более длинный путь, чем в США и Канаде. Первые эксперименты по прокладке противопожарных заградительных полос водными растворами химикатов были проведены в нашей стране в 1932–1933 гг. с самолетов По-2 (длина полосы 100 м) и П-5 (длина полосы 200 м).

Дозировка раствора на полосе длиной 100–200 м, созданной с самолета, составляла менее 0,5 л на 1 м² и не обеспечивала тушения даже слабого низового пожара и не создавала какой-либо преграды распространению огня.

В 1952–1954 гг. проведены испытания 1000-литрового авиапожарного опрыскивателя (АПО) с самолета Ан-2. Огнегасящую жидкость заливали в АПО при помощи мотопомп из емкостей, установленных на аэродроме, и выливали с летящего самолета на высоте 25 м под давлением 6 атм за 5 с, создавая на открытом месте полосу 8×130 м. В этих экспериментах создать достаточно смачиваемую полосу также не удалось. В 1955–1957 гг. бак АПО устанавливали на вертолете Ми-4, а раствор огнетушащего состава выливали с помощью мотопомпы с высоты 5–10 м при скорости полета 10–20 км/ч. Однако непосредственное тушение кромки огня не удавалось, так как воздушные потоки от винта разбивали струю жидкости. В 1961 г. на Ми-4 было сконструировано легкоъемное оборудование, состоящее из двух баков по 500 л каждый и мотопомпы М-800. Однако и эта конструкция не позволила получить необходимых результатов.

Эксперименты по применению вертолетов на тушении пожаров путем слива с них огнегасящих жидкостей были продолжены в 1967 г. На тяжелом вертолете Ми-6 была установлена мягкая емкость из прорезиненной ткани на 60 тыс. л. Вода сливалась через центральный люк диаметром 60 см за 20–25 с и впервые были получены положительные результаты. Однако после гибели вертолета на тушении лесных пожаров во Франции, работы были прекращены. В 1963 г. был сконструирован лесопожарный вариант на базе гидросамолета Ан-2В (Ан-2ПВ). В поплавки этого самолета были вмонтированы заборные и сливные створки. При посадке и взлете с водной поверхности в поплавки забиралось по 500 л воды и в поплавковые отсеки добавляли смачиватель. «Мокрыую» воду на бреющем полете сливали на очаг пожара или перед его кромкой. При этом создавалась заградительная полоса размером 8×100 м с дозировкой 1 л/м². Ан-2ПВ дал положительные результаты при тушении пожаров в сосновых насаждениях с полнотой до 0,8, в редирах и на открытых местах. Однако широкого распространения метод не получил из-за недостаточной мощности двигателя и сложности пилотирования самолета при заборе воды.

АНТК им. Антонова разработало лесопожарную модификацию самолета Ан-2 (Ан-2П). Самолет внутри фюзеляжа имеет легкий бак объемом 1,2 м³, который заполняют огнетушащей жидкостью на аэродроме. Слив огнетушащей жидкости осуществляется самотеком через горловину, направленную по углом 45° в сторону хвостового оперения самолета, что снижает дробление струи жидкости в набегающем потоке воздуха. Открытие створки горловины осуще-

ствляется дистанционно с помощью пневматического привода. Скорость самолета Ан-2П 160–180 км/ч, при сливе 140–160 км/ч. Высота полета при сливе над пологом леса 10–15 м. При этом создается заградительная полоса размером 75·4 м с дозировками по центру 1–1,5 л/м². Самолет АН-2П имеет ряд технологических достоинств: взлет и посадку можно производить с грунтовых аэродромов с длиной взлетно-посадочной полосы 400–600 м; можно патрулировать леса с заполненным баком и группой парашютистов-пожарных (2–3 чел.).

Звено в составе 2–3 самолетов можно эффективно применять для подавления начинающихся пожаров в радиусе 40–50 км от аэродрома базирования.

Лесопожарный самолет ИЛ-78ТП, разработанный ОКБ им. С. И. Ильюшина, имеет внутрифюзеляжное оборудование. Два бака в виде труб большого диаметра установлены на автономной платформе внутри фюзеляжа, что делает конструкцию быстросъемной. Общий объем двух баков составляет 44 м³. Слив жидкости свободный, по специальному желобу через открывающуюся в полете рамку. Открытие крышек баков для слива жидкости может осуществляться одиночно, последовательно или одновременно в зависимости от тактики тушения пожара. Слив жидкости может быть выполнен при горизонтальном полете на высоте 60–80 м и скорости 270–280 км/ч и с набором высоты – до 5 м/с. При первом режиме полета время слива жидкости составляет 8–9 с. При втором режиме – 6–7 с. При первом режиме слива на земле создается смоченная полоса протяженностью около 500 м и шириной 80–100 м с дозировкой жидкости в центральной части свыше 1 л/м².

Внефюзеляжное оборудование не загромождает грузовую кабину самолета, и он в любое время может быть использован для выполнения транспортных операций. Недостатком этой схемы является более высокая стоимость оборудования и дополнительное сопротивление воздуха, вызываемое наружными баками в полете. Кроме того, монтаж и демонтаж этого оборудования требует значительных затрат времени и может осуществляться только на авиационном заводе. В качестве примера такого оборудования является лесопожарная модификация самолета Ан-26 (Ан-26П). Самолет оборудован двумя наружными баками для огнетушащей жидкости емкостью 2000 л каждый, жестко закрепленных вдоль фюзеляжа, системой дистанционного управления сливными створками и оптическим прицелом для точного сброса жидкости на очаг горения. Огнетушащей жидкостью заправляются на аэродроме. Сброс жидкости осуществляется за 1–1,5 с одновременно из двух баков или последовательно один за другим. В первом случае на земле образуется смоченное пятно размером 60×40 м с дозировками в центральной части до 5 л/м²; во втором – смоченная полоса размером 100×30 м с несколько меньшими дозировками жидкости. Самолет Ан-26 взлет и посадку может производить с грунтовых аэродромов, имеющих взлетную полосу длиной не менее 1500 м. Свободная грузовая кабина самолета позволяет обеспечить доставку и десантирование к местам лесных пожаров 12 парашютистов-пожарных и трех упаковок пожарного снаряжения массой по 100 кг каждая.

Гидросамолеты имеют внефюзеляжное расположение баков (в реданных отсеках поплавков), а самолеты-амфибии внутрифюзеляжное.

Забор воды в баки гидросамолетов и самолетов-амфибий начинается в процессе их пробега (глиссирования) по поверхности водоема и заканчивается в момент взлета. Самолет Бе-12П может забирать воду во встроенные в фюзеляж 4 бака общей емкостью 8000 л в процессе глиссирования по поверхности водоема за 20–25 с. Сброс воды осуществляется на предельно малой высоте за 1,5–2 с. При этом протяженность смоченной полосы на поверхности земли достигает 90–100 м. При необходимости самолет может быть заправлен раствором ретарданта на ближайшем к пожару аэродроме. Возможность приготовления огнетушащего раствора непосредственно на борту самолета отсутствует. Бе-12П имеет пологую глиссаду и требует для посадки и взлета акваторию воды протяженностью не менее 3 км со свободными подходами. Слив огнетушащей жидкости из баков может быть свободным и принудительным, т. е. под давлением. В свою очередь свободный слив может быть залповым и растянутым (по времени). При залповом сливе основная масса жидкости покидает бак (баки) за 0,5–1,0 с, и на поверхности земли образуется смоченное пятно в виде овала, вытянутого в направлении полета. Степень смачиваемости поверхности земли при таком способе слива неравномерна и варьирует от максимальной в центральной части пятна – до минимальной на его периферии, снижаясь по закону нормального распределения. При растянутом сливе на земле образуется смоченная полоса, длина и ширина которой зависит в основном от скорости и высоты полета самолета, времени истечения жидкости из бака и степени ее загущения. Чем больше скорость и высота полета самолета-танкера в момент слива и время истечения жидкости, тем длиннее смоченная полоса на земле и меньше дозировки жидкости на единицу площади. Растянутый слив может быть выполнен путем замедленного открытия створок бака (при однобаковом оборудовании) или последовательного открытия створок баков (при многобаковом оборудовании).

Лесопожарное оборудование вертолетов, как и самолетов, может быть внутрифюзеляжным и внефюзеляжным (на внешней подвеске). Внутрифюзеляжное оборудование позволяет использовать максимальную грузоподъемность вертолета, тогда как оборудование на внешней подвеске снижает ее почти в 2 раза. Основным недостатком внутрифюзеляжного оборудования является загромождение грузовой, кабины вертолета баками и неспособность забирать воду из водоема или огнетушащий раствор из емкости-накопителя в режиме висения. При такой схеме заправки баков огнетушащей жидкостью посадка вертолета обязательна. Исключением из этого правила является конструкция сливного оборудования вертолета Ми-6П. Заполнение баков водой у этого вертолета производится в режиме зависания над поверхностью водоема с помощью специальной штанги из труб, на конце которой установлены насосы большой производительности.

Бак для огнетушащей жидкости, закрепленный на внешней подвеске не загромождает кабину вертолета и позволяет забирать воду из водоема в режиме висения путем погружения бака в воду или зачерпыванием.

Следующим преимуществом внефюзеляжного оборудования является оперативность его монтажа на вертолете, так как основные затраты времени сводятся к тому, чтобы подцепить тросовую подвеску оборудования к крюку несущей балки вертолета. Таким образом, любой коммерческий вертолет в грузовом варианте в течение нескольких минут может быть превращен в вертолет-танкер.

Основным недостатком этой схемы в сравнении с внутрифюзеляжной следует отнести снижение грузоподъемности вертолета почти в 2 раза. В 70-е гг. было разработано водосливное устройство (ВСУ) к вертолету Ка-26. ВСУ к вертолету Ка-26 состоит из бака (на внешней подвеске) объемом 320 л с установкой заглушек в верхней части бака – 420 л. Забор воды из водоема производится методом зачерпывания, а слив к месту пожара – опрокидыванием бака. Размер смоченной полосы при сливе воды над открытым местом 5×30 м. На практике ВСУ на Ка-26 хорошо зарекомендовало себя при тушении небольших (10×10 м) очагов горения, особенно в горах. Однако в связи с ограниченным применением в авиалесоохране вертолета Ка-26 это ВСУ не нашло широкого применения.

С 1979 г. применяют ВСУ на вертолете МИ-8Т, с помощью которого можно тушить низовые лесные пожары путем слива воды на горящую кромку или создавать заградительную полосу перед фронтом огня. В 1996 г. разработано новое сливное устройство ВСУ-3 и ВСУ-5. ВСУ на внешней подвеске при опускании в водоем с зависшего вертолета заполняется 1,5–2 м³ воды, а затем транспортируется к месту пожара. За один слив образуется смоченная полоса размером 10×110 м на открытом месте и 10×60 м под кронами спелого соснового насаждения с полнотой 0,6. При тушении отдельных очагов пожара и небольших пожаров с зависшего вертолета смачивают площадь 30×60 м на открытом месте и 15×30 м под пологом. Основными приемами использования водосливного устройства (ВСУ) являются: обработка кромки пожара с вертолета водой и растворами химикатов; прокладка заградительных полос; использование их как резервуара для заправки лесных огнетушителей. Наибольший эффект при обработке кромки огня водой с вертолета получается при тушении пожаров распространяющихся в редкостойных и низкорослых насаждениях, в кустарниковых зарослях, на не покрытых лесом площадях и в притундровых лесах. При этом метод слива воды с вертолета целесообразно применять только для дотушивания пожаров и при наличии наземной команды, а также в труднодоступных местах при тушении очагов загорания до прихода рабочих.

Технология тушения лесного пожара с помощью ВСУ может быть различной: Ми-8Т с командой десантников вылетает на подобранную или подготовленную площадку вблизи пожара. ВСУ с тросовой системой сгружают и приводят в рабочее положение. Команда следует к месту пожара, а вертолет летит к ближайшему водоему, забирает воду в ВСУ в режиме висения или ВСУ

устанавливают на землю у водоема, быстро наполняют водой с помощью мотопомпы и подцепляют к вертолету, который следует на пожар и обеспечивает тушение. Циклы полетов «водоем-пожар» выполняют многократно.

Водоемы для забора воды должны иметь открытые подходы и глубину не менее 1,5 м. Заполнение водой ВСУ происходит за 18–20 с, слив – за 14–17 с. Высота полета при сливе над открытым местом – 40 м, над кронами деревьев 6–0 м, при скорости полета соответственно 40 и 20 км/ч.

Вторая схема – заполненные водой ВСУ, как и мягкие емкости П-1.00 (1 м³) на внешней подвеске Ми-8, можно доставлять к месту пожара и оставлять на площадках вдоль кромки пожара. Воду используют пожарные, которые заливают ее в ранцевые огнетушители, или для тушения с помощью малогабаритных мотопомп.

Как уже отмечалось, эффективность тушения с воздушных судов во многом зависит от используемого огнезащитного состава в огнетушащей жидкости. Огнезащитный состав ОС-А1 для борьбы с лесными пожарами с воздуха предназначен для использования при тушении пожаров с самолетов и вертолетов, оборудованных специальными сливными устройствами, путем прокладки с воздуха заградительных противопожарных полос, а также в наземных условиях с применением лесопожарных агрегатов, вездеходов и пожарных автоцистерн. Состав ОС-А1 включает следующие ингредиенты: диаммонийфосфат – 34%, карбамид – 18 %, хлорид аммония – 9 %, натрийкарбоксиметилцеллюлоза (NaКМЦ) – 16 %, каслин – 18 %, кислотный оранжевый светопрочный краситель – 5 %. Карбамид и хлорид аммония позволяют уменьшить содержание дорогостоящего диаммонийфосфата, а также концентрацию антипирена в рабочем растворе до 9 % без снижения его огнезащитной эффективности, кроме того, они снижают до минимума коррозионные свойства состава, исключают брожение раствора. Загуститель NaКМЦ позволяет сократить потери жидкости на снос и испарение при сбросе с самолета (вертолета). Вязкие растворы, хорошо удерживающие пигмент во взвешенном состоянии и обладающие высокой адгезионной способностью, позволяют окрашивать кроны деревьев с целью определения с воздуха границы проложенной полосы.

Состав ОС-А1, представляющий собой сыпучий материал порошкообразной консистенции с размером частиц до 65 мкм, хорошо растворяется в воде и применяется в виде 15–18 % водного раствора вязкостью 0,2–0,8 Па·с. При слабом перемешивании (температура воды 20 °С) время полного растворения до образования гидрогеля не превышает 10 мин. Приготовление рабочих растворов осуществляют в автоцистернах любой марки, снабженных мотопомпой для перемешивания состава. Дозировка раствора ОС-А1 на земле, зависящая от запаса лесных горючих материалов и определяемая лесорастительными условиями, составляет в среднем 1,0 л/м².

Состав огнегасящий ОС-А2 для борьбы с лесными пожарами предназначен для использования с самолетов-танкеров типа Ан-2П, Ан-26П, Ан-32П и ИЛ-76ТП; кроме того возможно его применение в наземных условиях путем

прокладки заградительных и опорных противопожарных полос с использованием лесопожарных агрегатов. По внешнему виду состав ОС-А2 представляет порошок красно-коричневого цвета с размером частиц 0,25–0,5 мм и включает следующие ингредиенты: диаммонийфосфат – 33 %; карбамид – 13 %, аммоний хлористый 8 %, NaКМЦ – 44 % и пигмент – 2 %.

Высокая огнетушащая способность состава позволяет блокировать как фазу пламенного горения, так и тление лесных горючих материалов. Состав относится к разряду «длительного действия». Огнезащитные свойства полос, проложенных с воздуха, сохраняются несколько суток (практически до первого дождя). Высокая вязкость – раствора (1–1,2 Па) позволяет экономно расходовать состав, снизив его потери при сливе с самолетов-танкеров при высоких скоростях. Состав применяется в виде 13–15 % водного рабочего раствора, время образования гидрогеля не превышает 10 мин. Дозировка раствора на напочвенном покрове зависит от запаса и влажности лесных горючих материалов и составляет в среднем 2 л/м². Рабочий раствор приготавливают в специальных смесителях, он не обладает коррозионной активностью.

Технологии тушения лесных пожаров с помощью вертолетов. В нашей стране применение вертолетных водосливных устройств в разных регионах началось с 1980 г. Это были металлические емкости с объемом 1,5–2 м³. В 1995 г. НИИ АУС (г. Феодосия) совместно с ВНИИ ПАНХ ГА и «Авиалесоохрана» спроектировали, испытали и запустили серийное изготовление мягкого водосливного устройства ВСУ-5 для Ми-8 и Ка-32. Накоплен большой опыт применения, сделаны выводы, одинаковые с выводами специалистов США, Канады, Франции. Можно достаточно эффективно сбивать интенсивное пламенное горение, но крайне трудно ликвидировать загорание полностью, для этого необходимо добиться концентрации огнегасящей жидкости более 2 л/м². Так, при сливе воды над открытым местом с вертолета Ми-8Т потери достигают 30 % за счет испарения и выноса воздушным потоком мелкодисперсной части струи, а при сливе над пологом леса еще 20–30 % остается на листьях и ветках.

Это обстоятельство означает: любая атака с воздуха должна незамедлительно подкрепляться работой наземных команд. Чем меньше цикл оборачиваемости вертолета («слив – заправка ВСУ – слив»), тем больше эффективность работ. Достижение максимального результата не может быть без подготовленных к работе с ВСУ наземных команд и высокого уровня взаимодействия с воздушными силами.

Самостоятельное тушение вертолетом с ВСУ возможно лишь небольших по площади пожаров (до 1 га), расположенных на открытых участках. В России в хозяйственно ценных лесах традиционно преобладают высокополнотные насаждения, часто имеющие мощную моховую и травяно-моховую подстилку, что сужает диапазоны эффективного применения вертолетных ВСУ. Поэтому нужно понимать – применение вертолетных ВСУ и самолетов-танкеров должно иметь локальный характер, с учетом природных особенностей, как всей охраняемой территории, так и особенностей каждого конкретного пожара.

6.3. Искусственное вызывание осадков

Для борьбы с крупными лесными пожарами применяется метод искусственного вызывания осадков. Этот способ применяют для тушения крупных пожаров, борьба с которыми обычными средствами невозможна или малоэффективна, а также для тушения в отдаленных районах одновременно действующих мелких очагов, в случаях массового их возникновения.

Применение указанного способа возможно лишь при наличии в районе действующих пожаров мощных переохлажденных кучевых облаков. Сущность метода заключается в осаждении влаги из мощных кучевых облаков. Для этого, в районе действия пожаров необходимо найти кучевые облака с вертикальным развитием до 3–4 км и более. В вершине такого облака температура достигает –4–8 °С. Нижняя кромка облака обычно находится на высоте от 1 до 1,5 км, где температура варьирует от +10 до –25 °С. При этом влага в вершине облака – это снежинки и ледяные кристаллы, а также переохлажденные капельки и пар. Состояние их весьма неустойчиво. При введении в вершину такого облака реагента (йодистого серебра, йодистого свинца, сернистой меди, сухой углекислоты) происходит быстрый рост кристаллов, которые по мере их падения переходят в крупные капли дождя. На практике чаще применяют йодистое серебро. В зависимости от влагоемкости облака через 10–12 мин из него выпадают обильные осадки, которые продолжаются в течение 40–50 мин. При этом образуется смоченная полоса длиной от 3 до 30 км (по направлению ветра) и шириной 2–6 км. Для введения реагента в облако используют самолеты-зондировщики Ан-26 и Ан-24 со специально вмонтированными в иллюминаторы пусковыми кассетами (2 кассеты АСО-24 с пиропатронами ПВ-26) и с пультом пуска в пассажирской кабине. Реагент находится в специальном пиропатроне, который обеспечивает дальность пуска на 50 м. Полеты производят в соответствии со специальным прогнозом развития кучевой облачности.

Применение способа возможно только в районах, имеющих условия для развития ресурсной облачности. Практика показывает, что в целом ряде районов условий для искусственного вызывания осадков в пожароопасный сезон нет. К районам, где применение метода можно считать перспективным, относят Зауралье, север Тюменской области, Центральную Якутию, побережье Байкала и Тихого океана, Амурскую область.

Государственной геофизической обсерваторией (ГГО) им. Ваейкова разработан самолетный аэрозольный генератор (САГ) и контейнерная установка самолетного аэрозольного генератора (КУСАГ), которую устанавливают на верхних плоскостях Ан-2 для пуска ракет с реагентом в нижнюю кромку облака. Пульт управления находится у летчика-наблюдателя. Установка подключена к бортовой сети и обеспечивает пуск одной или нескольких ракет. В 1995 году установка была упрощена, разработана возможность ручного отстрела ракет с реагентом с приспособления типа ракетницы. Реагент можно ввести как в нижнюю кромку, так и в боковую часть кучевого облака.

При введении реагента его частицы восходящим потоком поднимаются в вершину облака и вызывают осадки. Испытан также способ введения реагента в облака при помощи ракет, запускаемых с земли. Однако практического применения он не нашел из-за сложности технологии и необходимости обеспечения безопасности полетов воздушных судов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими факторами определяются первоочередные действия служб пожарной безопасности при обнаружении лесного пожара?
2. Что относят к первоначальным действиям?
3. Что называют стратегией тушения лесных пожаров?
4. Что называют тактикой тушения лесных пожаров?
5. Как проводят разведку малых и больших лесных пожаров?
6. В каком случае и как применяют прием «окружение пожара»?
7. В каком случае и как применяют прием «охват с фронта»?
8. Из каких стадий состоит ликвидация пожара?
9. В какое время суток чаще всего происходит остановка пожаров?
10. Почему при тушении методом «захлестывания» сбивать огонь нужно не сверху, а сбоку?
11. Зачем при тушении водой в нее добавляют загустители?
12. Зачем при тушении водой в нее добавляют поверхностно-активные вещества?
13. В каких случаях для чего используют взрывные способы тушения?
14. Что называют «отжигом», каково его назначение и основные преимущества?
15. В каких случаях необходимо устройство «опорной линии»?
16. По каким участкам можно прокладывать опорные линии, и с помощью каких механизмов и инструментов?
17. Как зависит тактика и техника тушения от вида верховых пожаров: беглых и устойчивых?
18. Какие методы борьбы применяют с верховыми пожарами?
19. Есть ли особые требования к организации и расстановке рабочей силы при разных видах пожаров, какие?
20. Какова техника локализации подземных пожаров?
21. На каких территориях РФ наиболее эффективно тушение пожаров с помощью средств авиации?
22. Какие средства авиации используют в РФ при тушении пожаров?
23. Какие задачи может выполнять самолет-танкер?
24. Какие задачи может выполнять вертолет?
25. Назовите основные недостатки при использовании для тушения самолетов.
26. Какие преимущества и недостатки имеет метод тушения пожара с вертолетов по сравнению самолетами-танкерами?

7. Последствия лесных пожаров

7.1. Общие положения

Основные последствия воздействия лесных пожаров на окружающую среду и человека:

Социальные: гибель и травматизм людей непосредственно в зоне пожара; ухудшение психофизиологических показателей населения: физических, эмоциональных, интеллектуальных, репродуктивных, наследственности; рост заболеваемости населения; уменьшение продолжительности жизни.

Экономические: потери древесины, в том числе повреждение молодняков и ресурсов побочного лесопользования; расходы на тушение, расчистку горельников, восстановительные работы; убытки других отраслей: прекращение авиа-, железнодорожных перевозок, автоперевозок, судоходства и др.

Экологические: загрязнение продуктами горения воздушной среды, водной среды, почв: уничтожение кислорода; тепловое загрязнение; массовый выброс парниковых газов; изменение микроклимата; задымление и загазованность атмосферы; гибель животных и растений; снижение биоразнообразия.

Мы будем рассматривать воздействие лесных пожаров, касающееся небольшого ряда экологических и экономических последствий. В частности рассмотрим изменения фитоценозов, почв и их гидрологических режимов, качества древесины и ознакомимся с методами оценки потерь древесины.

Последствия лесных пожаров чрезвычайно разнообразны, поскольку разнообразны по своей природе и леса, и сами пожары. Послепожарные последствия различны также и по своей динамике.

Послепожарные изменения в лесах специалисты оценивают как в виде *отрицательных*, так и в виде *положительных* явлений и процессов.

Так, с одной стороны, с образованием гарей происходят процессы послепожарного ослабления и разрушения леса, а с другой стороны, на гарях появляются новые особи, новые представители растительного и животного мира, наблюдаются процессы формирования новых фито- и биогеоценозов, появляются новые поколения леса прежнего или нового состава.

По степени воздействия пожаров на лесной биоценоз последствия пожара могут быть грубо разделены на два типа:

- ✓ высокая степень интенсивности воздействия: жизнь леса как фито- и биогеоценоза нарушается на длительный период;

- ✓ низкая степень интенсивности воздействия: фитоценозы претерпевают небольшие изменения, не отражающиеся на их общем состоянии и развитии.

Характер воздействия пожара и вызываемые им последующие изменения связаны:

- ✓ с видом пожара;
- ✓ его размерами;
- ✓ характером леса;

- ✓ количеством пожаров на данной территории;
- ✓ временем пожара;

Нужно понимать, что лесные пожары оказывают два вида воздействия на лес: *непосредственное*, и *косвенное*.

Примеры первого – уничтожение или повреждение огнем отдельных растений или их сообществ из различных ярусов леса, непосредственное воздействие на урожай лесных деревьев (например, уничтожение или повреждение шишек), уничтожение подстилки, уничтожение различных представителей животного мира, начиная с дождевых червей и кончая птицами и т. д.

Примеры второго – нападение вредителей-насекомых, появление грибов-разрушителей древесины, изменения в приросте из-за послепожарных изменений почвенно-световых условий, изменения в формировании и росте новых поколений леса, изменения в составе фауны в связи с изменениями в характере леса и т. д.

Четко дифференцировать непосредственное и косвенное влияние пожаров – задача очень сложная, поскольку они взаимно обусловлены. Но делать это необходимо, поскольку дифференциация прямого и косвенного влияния пожара облегчает не только правильное понимание послепожарных явлений в смысле их генезиса, но позволяет делать прогнозы в отношении инженерно-технических работ, которые необходимо проводить в горельниках до наступления явлений их естественной более мощной деградации.

Простой пример – наличие вывалившихся деревьев на горях. Оно может быть связано:

- ✓ с перегоранием корней, то есть с *непосредственным* воздействием огня;
- ✓ с уничтожением огнем верхней органической части почвы и нарушением, вследствие этого, связанности корней с почвой, т. е. *непосредственное* воздействие огня на почву *переходит* здесь в *косвенное* влияние его на образование ветровала;
- ✓ с усилившимся действием ветра на изреженный после пожара древостой, то есть с *косвенным* влиянием пожара.

Последнее явление можно рассматривать и как следствие первых двух. Но при одном и том же количестве деревьев с перегоревшими корнями (на единице площади) опасность последующего образования ветровала будет различна в разных по характеру лесах. В одних случаях образование вывала ограничится только деревьями с перегоревшими корнями, в других – вывал дадут неповрежденные огнем деревья и не только на территории, задетой огнем, но и в стене соседнего, примыкающего к гари древостоя (что особенно часто бывает в ельниках).

Другой важный аспект воздействия пожаров – это *потери*. Различают *прямое действие* и *последствие* лесного пожара. Потери, порождаемые пожарами – это не только потери, наносимые лесу действием огня в момент пожара, но и потери, связанные с его последствием. Потери, которые являются результатом *последствия*, могут намного превышать потери от *прямого* действия пожара.

Последствия лесного пожара могут проявляться и в виде определенных положительных сторон. Их также необходимо учитывать в практической деятельности. Следовательно, знание всей совокупности изменений, которые происходят в лесу после пожаров, имеют большое значение не только с научной точки зрения, но также с инженерной и экономической.

Поэтому для быстрой ликвидации последствий пожаров, для использования последствий пожара в хозяйственной деятельности с наименьшими потерями и затратами очень важно унифицировать и стандартизовать наблюдаемые после лесного пожара явления. Для этого необходимо дифференцировать гари и горельники по типам.

7.1.1. Дифференциация гарей и горельников

Вопросы дифференциации такого явления, как гари, вызывают у ученых огромнейшие трудности, так как гари – это объект очень изменчивый во времени и пространстве. Гари и горельники многообразны, поскольку обусловлены различной природой пожаров и различной природой фито- и биогеоценозов, природно-климатическими условиями, почвами, к тому же состояние гарей непрерывно изменяется во времени и по территории. Также невозможно объединить различные предметные подходы к этому явлению. Поэтому к дифференциации гарей необходимо подходить с деятельностных позиций: лесозексплуатации, экологической, лесокультурной практики, освоения гарей под сельскохозяйственные угодья и др., и эту работу предстоит еще выполнить в будущем.

В настоящее время для дифференциации гарей и горельников ученые используют не типологию, а классификацию гарей и горельников, предложенную И. С. Мелеховым. Опираясь на принцип расчленения гарей в зависимости от воздействия пожаров на главный компонент леса – древостой, он считал целесообразным принять классификацию горельников по послепожарному *габитусу древостоев*, учитывая при этом результаты как непосредственного воздействия пожара, так и его косвенного влияния, и увязывая в классификации гарей характер древостоя до пожара и лесорастительные условия. Он выделил три основные группы гарей и горельников.

Определения

<i>Гарь</i> – это лесная площадь с древостоем, полностью погибшим в результате пожара

<i>Горельник</i> – это лесная площадь с древостоем, частично погибшим в результате пожара

Группа I. Гари с отсутствием древостоев и их остатков, образовавшиеся в результате полного или почти полного уничтожения их огнем.

Группа II. Горельники с древостоями (или их остатками), утратившими жизнеспособность:

- ✓ валежные горельники;
- ✓ сухостойные горельники.

Группа III. Горельники с древостоями или деревьями, сохранившими жизнеспособность:

- ✓ с незначительным (менее 10 %) числом жизнеспособных деревьев из первого яруса и полностью отмершими нижними ярусами (III-а);
- ✓ с более значительным (более 10 %) числом жизнеспособных деревьев из первого яруса и также с отмершими нижними ярусами (III-б);
- ✓ с частичным отмиранием лишь подчиненных ярусов или полным их сохранением (III-в).

Идентификация и дифференциация горельников первой и второй групп не представляет затруднений. При идентификации третьей группы горельников необходимо предварительно установить относительное количество затронутых огнем, но жизнеспособных древостоев.

7.2. Характеристика гарей и горельников

7.2.1. Гари с отсутствием древостоев, уничтоженных огнем

Полное уничтожение древостоя происходит после повальных пожаров в хвойных молодняках; образование горельников с уничтоженным древостоем наиболее часто наблюдается в результате повторного действия повальных пожаров в молодняках или в старых, совершенно засохших, валежных горельниках. Иногда такие гари образуются после повальных повторных пожаров в средневозрастных и более старых древостоях с большим количеством сухостоя и валежа от предыдущего пожара. Такие гари представляют собой открытые, обезлесенные огнем площади. Сплошные заросли иван-чая (*Chamaenerium E. angustifolium*), преимущественно на почвах, соответствующих типам леса группы *hylocomiosa*, иногда вейника (*Calamagrostis Sp.*) и отдельные обгорелые остатки деревьев создают типичный ландшафт таких гарей.

На подобных гарях обычно происходит резкая смена растительного покрова (включая и древесные растения). Иногда при сохранении подземных органов у материнских деревьев наблюдается вегетативное возобновление (береза, осина и другие лиственные породы).

При наличии вблизи гарей хвойных источников обсеменения не исключается и естественное возобновление хвойных пород (через смену или без смены пород). Чаще всего такие гари *должны быть объектом искусственного возобновления леса*. Эти гари могут представлять интерес и для сельскохозяйственного пользования (временного или постоянного).

7.2.2. Гари с древостоями, утратившими жизнеспособность

Такие гари образуются в результате:

- ✓ низовых, в особенности подстильно-гумусовых (в ельниках), и подземных торфяных пожаров (в сосняках и ельниках), вызывающих образование

валежных горельников;

✓ верховых пожаров, обычно вызывающих появление *сухостойных горельников*; эти горельники характерны для сосновых и лиственничных лесов.

Иногда в сосновых и лиственничных лесах к подобным результатам приводят сильные низовые пожары, особенно при наличии 2-го яруса из ели и большой захламленности. Верховые и низовые пожары могут привести к засыханию еловых лесов. Нередко повальные пожары, совершенно уничтожив часть древостоя, оставляют значительную его часть, в особенности лиственницу, в виде сухостойников (рис. 7.1).

Характер леса оказывает влияние и на последующий распад древостоев. Ельники отмирают уже через год после низового пожара незначительной силы.

Распад сосняков после низовых пожаров, наоборот, очень тесно связан с силой пожара. Лишь в очень сильно ослабленных огнем сосняках отпад через год составляет 70–80% запаса, иногда и более.



Рис. 7.1. Гарь с древостоями, утратившими жизнеспособность
(<http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemprint/2420>)

7.2.3. Горельники с древостоями, сохранившими жизнеспособность

Горельники с древостоями или деревьями, которые сохранили жизнеспособность – это в большинстве случаев сосновые и лиственничные средневозрастные и спелые насаждения и редко ельники после низового пожара. Иногда к этой группе горельников относят и древостои, испытавшие действие беглого вершинного пожара, если он произвел опал хвои лишь на отдельных ветвях.

Древостой с незначительным числом жизнеспособных деревьев, т. е. горельники группы III-а, могут быть полуразрушенными, расстроены ветровым валом, буреломом, могут быть и в виде древостоев, целиком стоящих на корню. Первые наиболее типичны для заболоченных сосняков и частично ельников, на торфянистых и торфяных почвах. Происхождение их связано с действием низо-

вых пожаров, часто переходящих в таких условиях в подземные. В связи с сильным прогоранием мхов (сфагнома) и торфа корни многих деревьев обнажаются, обгорают или даже перегорают. Результатом этого является вывал деревьев (рис. 7.2). Эксплуатационное значение таких горельников невелико, но быстрая ликвидация их необходима.



Рис. 7.2. Вывал деревьев в результате перегорания корней

Горельники с преобладанием сухостойных деревьев образуются в борových сосняках после интенсивных, устойчивых, низовых пожаров (в особенности в 40–60-летних сосняках). Отпад деревьев вследствие пожара происходит в наиболее тонких ступенях, снижаясь с увеличением диаметра деревьев. Огонь производит как бы своеобразное низовое прореживание с его положительными последствиями. Но часть растущих деревьев ослабляется пожарными травмами, а в кронах – насекомыми.

С другой стороны, встречаются 80–100-летние сосняки, испытавшие в 50-летнем возрасте действие таких же интенсивных пожаров. При этом они не только сохранили жизнеспособность, но к 100-летнему возрасту улучшили свой рост. Больше того, нередки такие 100-летние сосняки, которые испытали повторные воздействия низового пожара и, тем не менее, сохранили жизнеспособность, в них уже не наблюдается обилия стоящих на корню сухостойных деревьев, что было после первого пожара 50 лет назад. Таким образом, даже на 50-летние сосняки с незначительным количеством жизнеспособных деревьев, сохранившихся после низового пожара, можно рассчитывать как на потенциальный сырьевой ресурс. Кроме того, эти деревья будут способствовать естественному возобновлению леса. Такие сосняки имеют эксплуатационное значение.

Значительное число сухостойных деревьев в таких насаждениях создает угрозу повального пожара. Поэтому сухостой следует вырубать.

7.3. Факторы, влияющие на восстановление леса после пожара

7.3.1. Изменения почв

Пирогенные процессы и их влияние на почвы изучены достаточно хорошо. Обычно пожары в лесах слабой или средней силы не вызывают деградации минеральных почв, и напротив, нередко оказывают положительное воздействие на плодородие минеральных почв. Примером этому являются пожары, как обязательный элемент огневой (подсечной) системы земледелия, в которой предусматривается выжигание лесов и использование золы для восстановления почвы. Однако при особо сильных, длительных и возвратных пожарах происходит спекание и «остекление» поверхностных горизонтов минеральных почв. При этом семена древесных растений утрачивают способность укореняться в подобных условиях. Нарушается процесс самовосстановления лесов.

Однако пожары на осушенных торфяных массивах имеют несравнимо большие разрушительные последствия, чем пожары в лесах на минеральных почвах. Эти пожары заканчиваются обычно полным уничтожением органогенных почв, и замещением их низкоплодородными вторичными кварцевыми пирогенными образованиями.

Влияние почв на вид горельника. Различия в виде и состоянии горельников тесно связаны с различиями в почвенных условиях. Почвенно-геологические условия влияют на степень повреждения корней и на степень послепожарного ветровала.

Например, если еловые массивы произрастают преимущественно на неглубоких сильно оподзоленных, суглинистых почвах на выщелоченных лессовидных плотных глинах и суглинках, препятствующих глубокому проникновению корневой системы деревьев или на мелких почвах, которые подстилаются карбонатными породами, также препятствующих глубокому укоренению деревьев, то в таких почвенных условиях преобладают *валежные* горельники. Большое количество вывала образуется первый же год после пожара, а через 5–7 лет в этих лесах стоящих деревьев почти нет.

Сухостойные горельники, напротив, произрастают на глубоко дренированных, относительно легких по механическому составу почвах (супеси и легкие суглинки), которые развиты преимущественно на слоистой древнеаллювиальной суглинисто-супесчаной или глубокой песчаной толще.

Изменения почв под влиянием огня зависят от типа леса и от силы воздействия огня. Исследования почв после различных пожаров показали, что физические и биохимические процессы в почвах под воздействием огня могут существенно изменяться. Почвы могут *заболачиваться* и *разболачиваться*.

Заболачивание сосняков-черничников, может быть связано с затрудненным испарением влаги с поверхности почвы, которое вызывается влиянием древесного полога и сильной захламленностью. В сфагновых сосняках пожары могут изменить характер заболачивания вследствие выгорания сфагноума и дальнейшего переувлажнения верхних горизонтов за счет грунтовых вод.

Разболачивание. Это явление особенно проявляется в заболоченных сосняках-зеленомошниках, а также в некоторых торфянистых сосняках с небольшой мощностью торфа (например, в кассандровых сосняках). Огонь, уничтожая торфянистый слой вместе с гидрофильной растительностью, производит своеобразное осушение почвы.

Кроме этого может измениться состав ферментного комплекса, pH почвы, содержание макро- и микроэлементов, может уменьшиться содержание гумуса, измениться объемная теплоемкость почвы, ее поглотительная способность.

7.3.2. Изреживания

На изреженных древостоях возобновлению лесов часто препятствует сильное разрастание травянистых растений. Этому способствует хорошая прогреваемость почв. Возобновлению сосны в сильно разреженных пожаром сухих лишайниковых сосняках заметный вред причиняет майский хрущ (*Melolontha hippocastani Fabr.*), который в северной части ареала своего обитания представлен преимущественно в стадии личинки, которая живет в почве. Личинка повреждает корневую систему соснового подроста в лесах с давностью пожара 20–25 лет, что создает благоприятные условия для развития майского хруща (рис. 7.3).



Рис. 7.3 Личинка майского хруща и майский хрущ восточный

7.3.3. Влияние насекомых

Это влияние тесно связано со временем пожара и величиной площади гарри. Весенние и раннелетние пожары способствуют появлению вредителей в тот же сезон.

На участках, подвергшихся пожару в мае, уже в июле наряду с короедами может появиться сосновый усач, который почти полностью заселяет деревья участка. В Западной Сибири на некоторых майских гарях отмечается массовый прилет усача *Monochamus galloprovincialis ol.* в августе, который быстро приводит сосны к усыханию, поскольку усачи откладывают яйца, из которых уже в течение того же лета могут развиваться личинки, пробуравливающие древесину. Специалисты считают почти безнадежной утилизацию древесины на гарях, об-

разовавшихся после весенних пожаров, поскольку деревья пробуравливаются насекомыми в течение нескольких недель после того, как они были обожжены.

При оценке гари как очага заражения существенное значение имеет *площадь* гари. Развитие насекомых на больших гарях затягивается во времени. Максимум развития насекомых в сосново-еловых горельниках наступает на 4–5-й год, а на небольших гарях – через год-два проявляется в максимальной степени.

Следовательно, небольшие по площади гари более опасны для окружающих здоровых насаждений. В связи с этим, с ликвидацией горельников при значительной площади гари можно не торопиться два-три года без ущерба для окружающего насаждения.

Разные виды короедов заселяют гари на различные сроки. По наблюдениям на Брянских гарях, жук-короед полиграф пушистый (*Polygraphus polygraphus*) наиболее требователен к свежести дерева и встречается преимущественно на гарях первого года; гравер обыкновенный (*Pityogenes chalcographus*), напротив, способен наиболее долго держаться на гарях и его количество снижается лишь на четвертый год.

Для северных еловых горельников характерны: короед-типограф (*Ips. typographic L.*), короед пожарищ (*Orthotomicus suturalis Gyll.*), гравер обыкновенный (*Pityogenes chalcographus L.*), фиолетовый лубоед (*Hylurgops palliatus Gyll.*), короед-крошка еловый (*Crypturgus pusillus Gyll.*) и другие вредители, способствующие окончательному переводу ослабленных древостоев в мертвые горельники. Одновременно и вслед за ними начинают работу технические вредители. На севере и в Сибири обычные усачи *Monochamus sutor L.*, *Monochamus urussovi Fisch.* (рис. 7.4) и др.



Рис. 7.4. Усач *Monochamus sutor L*
(<http://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/monsutzi.htm>)

Обычным вредителем еловых горелых лесов на севере является также древесинник (*Trypodendron (Xyloterus) lineatum Ol.*), большой хв. рогохвост (*Urocerus gigas taiganus Bens.*). Через год-два после пожара еловые горельники нередко бывают целиком поражены насекомыми.

В сосново-еловых горельниках встречается большинство из перечисленных вредителей. Некоторые из них (древесинник хвойный, короед пожарищ, фиолетовый лубоед) характерны для сосновых горельников. В последних часто встречаются также короед-крошка (*Crypturgus cinereus Herbst*), вершинный короед (*Ips*

acuminatus Eichh.) и другие короеды, характерные для сосны, например, короед стенограф (*Ips sexdentatus Boern*). Исследования, проведенные на сибирских гарях, показали, что *Ips sexdentatus Boem* может являться даже наиболее широко распространенным вредителем горелых сосняков.

Из усачей для сосновых гарей севера, как и для гарей других районов, характерен черный сосновый усач (*Monochamus galloprovincialis Ol*).

Таким образом, в северных районах, и в ельниках, и в сосняках, пожары способствуют массовому размножению усачей. В сосновых горельниках особое место занимают лубоеды: большой сосновый и малый сосновый (*Tomicus piniperda* и *Tomicus minor Hart*). Получая питание в области кроны, и непосредственно повреждая стволы, они значительно ослабляют жизнеспособность горелых сосняков. Эти два вредителя характерны для начальных стадий образования горельников и являются постоянными спутниками горельников с древостоями, в той или иной мере сохранившими жизнеспособность.

Вред, причиняемый насекомыми в сосновых горельниках, как правило, меньше, чем в еловых.

Распространение усача на сосновых деревьях в горельниках 2–3-летней давности идет до высоты 5–7 м, а на еловых – до 13–16 м. Глубокие ходы усача, пробуравливающие древесину, встречаются, как правило, на гарях 2-летней и более давности. Наряду с обычной дугообразной формой ходов встречаются ходы, пробуравливающие дерево насквозь через весь поперечник.

7.3.4. Влияние дереворазрушающих грибов

В результате травм, полученных деревьями при пожаре, и утраты ими жизнеспособности, деревья усыхают и в древесине образуются трещины. Высыхание древесины усиливается после опадения коры через два-три года после пожара. Трещины и ходы насекомых ускоряют процесс заражения и последующего разрушения древесины грибами.

Заражаемость древесины грибами-разрушителями в горельниках исключительно высокая. В мертвых горельниках видовой состав грибов и степень повреждения ими древесины зависит от давности пожара. Деревоокрашивающие грибы могут вызывать окрашивание древесины в разнообразные цвета – синий, желтый, зеленоватый, коричневый или черный. Деревоокрашивающие грибы имеют много общего с поверхностными плесенями. Как и плесневые грибы, они питаются в основном низкомолекулярными веществами древесины, а структурные элементы, от которых зависят механические свойства древесины – целлюлозу и лигнин поражают в меньшей степени. Однако, в отличие от плесневых грибов, они проникают в материал намного глубже. В большинстве случаев появление деревоокрашивающих грибов приводит впоследствии к заражению дереворазрушающими грибами.

Дереворазрушающие грибы наиболее опасны. Среди вызываемых ими поражений, по окраске и характеру, выделяют три типа гнили:

✓ белую;

- ✓ бурую;
- ✓ мягкую.

Грибы белой гнили разрушают, прежде всего, лигнин древесины, оставляя неповрежденной целлюлозу.

Грибы бурой гнили предпочитают целлюлозу, оставляя лигнин древесины почти нетронутым.

Большинство грибов, вызывающих бурую гниль, создает *ризоморфы*, толщина которых может достигать нескольких миллиметров, а длина – нескольких метров. По этим ризоморфам гриб может поражать древесину на больших расстояниях. Бурая гниль – самый опасный тип биопоражения. Древесина, пораженная гнилью этого типа, легко проницаема для воды и может увлажняться на всю глубину.

Стволы почти всех деревьев, потерявших жизнеспособность, в первый же год после пожара поражаются синевой (*Endoconidiophora coerulea* sens, *Ceratostomella pini* и др.). Например, в еловых горельниках уже через 20 дней после пожара синева проникает в комлевой части древесины на глубину 1,5 см.

В первый год после пожара развитие гнили ограничивается первой стадией. На втором году приблизительно у 1/3 пораженных деревьев наблюдается вторая стадия гнили, а на третьем году количество таких деревьев увеличивается до 2/3; кроме того, у некоторой части деревьев гниль развивается до третьей стадии. На 5–7-летних гарях у большинства деревьев гниль выражена второй и третьей стадиями развития.

Видовой состав грибов-разрушителей, вызывающих образование послепожарных периферических гнилей в горельниках, следующий:

- ✓ на гарях 2–3-летней давности – пениофора гигантская (*Peniophora gigantea* mass.), реже – трутовик окаймленный (*Fomitopsis pinicola* Fr.);
- ✓ в горельниках 5–7-летней давности – *Fomitopsis pinicola* Fr., заборный трутовик (*Gloeophyllum sepiarium* Fr.), пениофора гигантская (*Peniophora gigantea* Mass.), трутовик розовый (*Fomes roseus* Fr.).

Валежник разрушается быстрее, чем сухостойные деревья. На валежной древесине наиболее часто развивается *Fomitopsis pinicola*. На валежных деревьях уже через два года гниль распространяется по всей длине ствола, на сухостое она поднимается не выше 1,5–5 м. На гарях 5–7-летней давности на валежных деревьях гниль распространяется по всей толще дерева, на сухостое она проникает вглубь преимущественно по ходам усача и трещинам.

7.3.5. Естественное восстановление лесных фитоценозов

Восстановление леса в сухостойных и валежных гарях в разных типах леса происходит неодинаково и зависит от скорости отмирания древостоя, степени захламления, размера площади гарей и других факторов. Например, в бассейне р. Юлы (приток р. Пинеги) под пологом древостоя в вересково-лишайниково-брусничном бору, через 30 лет после сильного низового пожара, находили на 1 га более 15 тыс. шт. здорового подроста и самосева сосны. В том

же районе в лишайниковых борах с той же давностью низового напочвенного пожара насчитывалось от 3000 до 9000 шт. соснового подроста и самосева сосны до 35 тыс. шт. на 1 га. Под пологом древостоев в немских лишайниковых борах (верховья Вычегды), испытавших низовой пожар, через 20 лет встречали сосновый самосев и подрост в количестве до 70–80 тыс. шт. на 1 га. Хотя в лишайниковых борах наблюдается возобновление сосны под пологом и в насаждениях, давно не испытавших пожара, но оно обычно выражается значительно меньшими количествами подроста и самосева

Возобновление ели под пологом боровых сосняков после низовых пожаров облегчается соседством приручейных ельников, весьма редко затрагиваемых пожарами.

Смена хвойных древостоев лиственными породами (березой и осиной) – характерное явление для гарей этих типов, как и для гарей с уничтоженным древостоем.

Для валежных и валежно-сухостойных горельников характерно неравномерное размещение молодняка: возобновление происходит в первую очередь в местах умеренно захламленных и без валежника. Однако места свободные от валежника заселяются злаковыми (в более сухих вариантах – зеленомошниковыми), которые препятствуют естественному лесовозобновлению.

Большие скопления валежника, затрудняя испарение с поверхности почвы, способствуют поселению кукушкина льна и заболачиванию гари.

Береза лучше возобновляется на влажных почвах в зеленомошниках. Возобновление березы довольно успешно протекает в долгомошниках и торфянистых сфагновых типах елового леса. В связи с этим возобновление березы может вызвать разболачивание почвы. На валежных гарях с большим количеством валежника процесс такого разболачивания задерживается и может усилиться только с уменьшением количества валежной древесины и облесением гари.

Таким образом, необходимость быстрой ликвидации валежных горельников вызывается интересами лесовозобновления. Запоздалая уборка древесины в этих горельниках приводит к повреждениям появившегося молодняка.

Ель под лиственным пологом восстанавливается с различной скоростью в зависимости от расстояния до источников обсеменения. Так, на больших гарях при отсутствии на них зеленых оазисов из ели этот процесс может растянуться на три-четыре десятилетия и более, при благоприятных же условиях ель полностью заселяется под пологом лиственных в течение 15–20 лет.

Возобновлению ели благоприятствует умеренное захламление, которое оказывает защитное влияние. Защитное влияние на возобновление ели в горельниках может оказывать и сухостой. На этом основании был предложен в свое время метод комбинированной очистки лесосек.

В валежных еловых горельниках не исключается и возобновление сосны (при наличии отдельных уцелевших деревьев), происходящее одновременно с лиственными. Количество соснового самосева составляет лишь небольшую примесь к лиственным. В сухостойных сосновых горельниках (при наличии по соседству

источников обсеменения) возобновление сосны наблюдается чаще и бывает обильнее.

После повторных пожаров в валежных горельниках могут резко улучшиться напочвенные условия для последующего искусственного лесовозобновления, которое в этих условиях может быть проведено без обработки почвы.

7.4. Деловые качества древесины после пожара

Дифференциация горельников на *валежные* и *сухостойные* необходима потому, что изменения технических характеристик древесины после пожара в них различны. Это определяет и различия в лесозаготовительной технике и технологиях, используемых при работе в валежных и сухостойных горельниках.

У сухостойных деревьев сосны и ели в горельниках 1–7-летней давности физико-механические свойства древесины (объемный вес, сопротивление сжатию вдоль волокон) в среднем незначительно отличаются от показателей для неповрежденных древостоев в тех же районах и тех же типах леса. Наиболее заметно могут снижаться показатели твердости, что наблюдается преимущественно в местах поражения грибами-разрушителями, особенно начиная со второй стадии. Однако в результате образования трещин, поражения насекомыми и грибами древесина в мертвых горельниках постепенно теряет *деловые качества* и разрушается. В первые годы после пожара развиваются грибы, вызывающие гниль преимущественно коррозионного типа, например *Peniophora gigantea* Mass. С течением времени на гари развиваются и грибы-разрушители, вызывающие гниль деструктивного типа (например, *Fomitopsis pinicola* Fr., *Lenzites sepiarium* Fr. и др.), что еще больше ограничивает возможность получения даже целлюлозы из древесины горельников. Поэтому горельники следует вовлекать в эксплуатацию в первые годы после пожара, не допуская окончательного разрушения их грибами.

В сухостойных горельниках сортность сортиментов деловых стволов снижается уже через два года после пожара. Переход всех деловых сортиментов в дрова наступает для отмершей ели через 5–6 лет, а для сосны – через 7–8 лет после пожара.

На валежных горельниках уже через два года после пожара большая часть деловой древесины ели переходит в дрова, а через 7 лет значительная часть древесины становится не пригодной даже на дрова. Особенно быстро разрушается валежная береза: через 3–4 года ее древесина почти полностью истлевет.

Итак, физико-механические свойства древесины горельников утрачивает медленнее, чем деловые качества, обусловленные образованием трещин, синевы, начальными стадиями гниения, повреждениями насекомыми.

Следовательно, в валежных горельниках заготовка древесины, даже дровяной, должна быть произведена в течение не более трех лет после пожаров. В сухостойных горельниках этот срок может быть удлинён: в ельниках до 5–6 лет, в сосняках – до 6–8 лет.

8. Пожарная травматология древесных пород

Предметом пожарной травматологии леса является огнестойкость, травмы и выживаемость различных древесных, кустарниковых пород и травянистых растений во время и после пожара. Пожарная травматология леса, как одно из научных направлений лесной пирологии, сформировалась в 1940-х гг. (Мелехов, 1940, 1944, 1948).

8.1. Огневые повреждения древесных пород

Непосредственное воздействие пожара на древостой чаще проявляется в нанесении огневых повреждений – травм. С одной стороны, огневые повреждения влекут за собой смерть деревьев или их ослабление. С другой стороны, некоторые огневые ранения вызывают анатомические изменения в деревьях, приводящие к усилению их прироста и плодоношения.

Огневые повреждения деревьев зависят от их возраста, развитости и проявляются в виде:

- ✓ ожогов и перегорания корней;
- ✓ ожогов ствола;
- ✓ ожогов кроны.

8.1.1. Зависимость огневых поражений от породы и возраста древостоя

Огневые поражения и виды травм от пожара (одинакового вида и силы) у разных древесных пород и в различном возрасте неодинаковы. Воздействие низового пожара на деревья часто ограничивается легким поверхностным ожогом или опалом коры, что может быть безболезненным для дерева, если огонь не затрагивает камбия. Камбий весьма чувствителен даже к сравнительно небольшому повышению температуры. При нагревании до 54–57 °С камбий погибает. Внешним признаком омертвления камбия является его побурение. Отмирание больших участков камбия по окружности ствола или корня может привести к усыханию дерева.

Степень поражения камбия огнем зависит от глубины прорастания корней, толщины коры, высоты ствола до начала живой кроны, а также от количества в коре смолистых веществ. Чем больше в коре деревьев смолистых веществ, тем выше степень огневого ранения камбия. К породам, у которых в коровой паренхиме имеется смолоносная система, относят пихту, можжевельник, сосну и ель.

Опробковевшая кора содержит меньше смолы, имеет низкую теплопроводность, поэтому хорошо защищает камбий от воздействия высокой температуры.

Корни, глубоко проникшие в почву, лучше предохранены от воздействия высокой температуры. Низко опущенная крона облегчает опал хвои (листвы) при низовом пожаре, способствует переводу его в верховой и создает угрозу

поражения камбия в верхней части ствола, где он под тонкой корой менее защищен.

Поэтому сосну, лиственницу и дуб относят к наиболее огнестойким древесным породам, а пихту и ель – к наименее огнестойким.

Сибирский кедр, имеющий довольно толстую кору, более устойчив к открытому огню, чем ель и пихта, но уступает сосне и лиственнице.

В молодом возрасте все древесные породы, особенно хвойные, сильно страдают от огня. Очень чувствительны к высокой температуре всходы: температура в 54 °С оказывается уже смертельной для всходов ели. При воздействии высокой температуры (около 800 °С) камбий 15-летней дугласовой пихты с тонкой корой может быть убит в течение 11 мин. У старых деревьев, защищенных толстой корой, камбий не погибает даже в продолжение четырехчасового воздействия на него такой же высокой температуры.

С образованием корки повышается огнестойкость стволов, которая с возрастом все больше увеличивается. В северных лесах сопротивляемость сосны огневому воздействию при низовых пожарах становится заметной к 50 годам, и для сосняков наступает меньшая опасность смертельного поражения от низовых пожаров. Однако хорошо развитые деревья и в 20–30 лет также могут сопротивляться огневому воздействию.

Так было отмечено, что если при пожаре в 50-летних сосняках деревья, сохранившие жизнеспособность, составляли более половины их общего количества, то в 100–170-летних сосняках жизнеспособных составила 3/4 от всех деревьев. Необходимо принять во внимание, что 100–170-летние сосняки испытывали, в отличие от 50-летних, многократное воздействие пожаров.

Повышение огнестойкости деревьев с возрастом имеет предел. В старом возрасте в связи с естественным ослаблением жизнеспособности дерева сопротивляемость огню может снижаться у толстых деревьев (от 40 см и выше).

8.1.2. Огневые поражения корней и ствола

Поверхностные огневые ожоги на корнях ели вызывают ее быстрое отмирание. Непосредственное огневое воздействие на корни может быть весьма болезненным. Перегорание корней приводит к образованию вывалов. Сосна заметно страдает от перегорания корней только в некоторых типах лесов, преимущественно на торфяных и торфянистых почвах. Чаще такое наблюдается в спелых кассандровых сосняках и северных сфагновых сосняках.

Массовым видом огневого ранения при низовых пожарах являются травмы в виде *опалов коры* и поражения под нею камбия в нижней части стволов. Наружный опал (нагар, обгар) коры часто свидетельствует и о поражении камбия. В результате образуется *пожарная подсушина*. Удалив кору, можно точно установить наличие и размер ранения. На краях скрытой корою подсушины формируется *каллюс*, и ранение начинает зарастать.

Выделяют четыре стадии образования и изменения пожарной подсушины: а) образование под корой огневой травмы; б) зарастание скрытой подсушины;

в) частично обнаженная зарастающая подсушина; г) заросшая подсушина. Во многих случаях полного зарастания подсушины не происходит. Пожарные подсушины зарастают в основном у сосны и лиственницы. У других древесных пород такое явление наблюдается реже.

Действие огневых ранений на деревья тесно связано со временем пожара:

- ✓ до пробуждения камбия и в период окончания отложения годичного слоя огневое воздействие менее болезненно;
- ✓ в период усиленного деления камбиальных клеток – наиболее болезненно.

В Восточной Сибири у сосны годичные слои в комлевой части стволов откладываются в срок с половины июня-начала июля до первой половины августа; в дальнейшем идет преимущественно процесс утолщения стенок трахеид.

При повторном воздействии пожаров старые пожарные ранения углубляются и расширяются, могут также появляться новые ранения. Участки с подсохшей, засмоленной, иногда разрушенной грибами древесиной способствуют образованию новых, более сильных огневых ранений. Древесина, вблизи ранения, прикрыта молодой тонкой корой, и в этих местах при повторном пожаре камбий поражается наиболее часто.

Огневые ранения могут образоваться с одной стороны ствола, или же, что реже, с двух и более сторон. При этом деревья с подсушинами от одного пожара следует отличать от деревьев с ранениями от нескольких пожаров. Сами же подсушины могут быть *скрытыми, обнаженными, заросшими*, а ранения могут иметь различное протяжение по окружности, высоте, глубине и конфигурации и иметь или не иметь инфекцию.

Все разнообразие огневых ранений стволов можно свести к следующим четырем типам:

- ✓ старые ранения, образовавшиеся при первом пожаре;
- ✓ расширения старых ран при новом пожаре за счет умерщвления живых тканей, окаймлявших старую рану;
- ✓ новые ранения, не связанные со старыми ранами;
- ✓ дупла от старых ран.

8.1.3. Связь размеров наружного обугливания коры со степенью поражения камбия деревьев различных пород

Наблюдения показывают:

- ✓ одинаковое огневое воздействие приводит к различной степени поражения камбия у различных пород древесины;
- ✓ при одинаковой высоте наружного обгорания коры высота пожарной подсушины различна у деревьев разного диаметра;
- ✓ увеличение высоты обгорания коры приводит к увеличению размера длины пожарной подсушины;
- ✓ величина протяженности пожарного ранения по окружности дерева оказывает большое влияние на его жизнеспособность.

У тонкокорых пород (*ели, пихты, березы* и др.) при поверхностном обугливание коры опасность образования огневой раны под корою выше, чем у сосны или лиственницы. Наблюдаются случаи, когда у ели камбий погибает под влиянием высокой температуры пламени, действующего на некотором расстоянии от коры. Поэтому площадь поражения камбия может оказаться иногда больше поверхности обугленной коры.

У *сосны и лиственницы* с их толстой корой в нижней части стволов это явление исключается. Непосредственный же ожог коры с обугливанием у сосны и лиственницы приводит к локальному поражению камбия.

У тонкомерных деревьев подсушина простирается на большую высоту, чем у деревьев большего диаметра, т. е. более толстокорых. Поверхностное легкое обугливание коры толстых средневозрастных или старых сосен на высоте не более 20–30 см от основания, при первом пожаре, обычно не сопровождается поражением камбия; образование подсушины в этом случае может быть вызвано лишь при глубоком прогорании коры. Поэтому, в сосняках и в лиственничных древостоях старших возрастов высота подсушины обычно меньше высоты обгорания коры.

По высоте обгоревшей коры можно на качественном уровне судить и о «площади» подсушины. Высота обгорания и глубина прогорания коры зависят от древесной породы. Например, при измерении нагаров у деревьев трех пород – сосны, лиственницы и ели (>3000 шт.), оказалось, что наибольшая высота обугливания коры стволов от низовых пожаров наблюдается у лиственницы и сосны, а наименьшая – у ели. Это объясняется тем, что неровная толстая сухая корка в комлевой части стволов лиственницы и сосны с наружными трещинами способствует глубокому прогоранию коры и продвижению пламени вверх.

Обугливание коры на березовых стволах простирается на большую высоту, чем у ели, и на меньшую, чем у сосны. Гладкая поверхность коры препятствует высокому ее обгоранию, тонкие же отслаивающиеся листочки бересты, являющиеся прекрасным горючим материалом, способствуют более высокому обгоранию коры.

У молодой осины гладкая и влажная кора препятствует распространению поверхностного обугливания на значительную высоту.

Протяженность пожарного ранения по окружности дерева оказывает большое влияние на его жизнеспособность. Полное умерщвление камбия по всей окружности дерева приводит к его отмиранию.

В табл. 8.1 приведены данные о пожарных подсушинах у 353 деревьев в 200-летних сосняках ягодникового бора спустя 3 года после низового пожара.

Деревья, камбий которых поврежден до половины окружности ствола, в большинстве случаев оправляются; даже при поражении камбия на 3/4 окружности около 40 % деревьев сохраняют жизнеспособность спустя 3 года после пожара.

Таблица 8.1

Зависимость отпада сосны (в % отн.) от степени повреждения камбия

Доля окружности ствола с поврежденным камбием у шейки корня	Число деревьев, шт.	Отпад, %
0,00	156	0
0,25	20	5
0,50	60	8
0,75	14	57
1,00	103	100

Итак, можно констатировать, что:

✓ поверхностное обугливание коры у толстокорых деревьев (сосна, лиственница), в отличие от деревьев с тонкой корой (ель, пихта), не всегда сопровождается поражением камбия, однако с увеличением высоты поверхностного обугливания коры увеличивается поражение камбия;

✓ в одновозрастных сосновых и лиственничных древостоях высота поверхностного обугливания коры не зависит от диаметра деревьев;

✓ в одновозрастных еловых и березовых древостоях высота поверхностного обугливания коры зависит от диаметра деревьев (например, толстомерных елей и берез трещиноватая чешуйчатая и более сухая корка лучше поддерживает горение, чем гладкая сырая кора у тонкомерных елей и берез);

✓ степень повреждения камбия по высоте дерева связана с его диаметром: при одной и той же высоте наружного поражения коры у тонкомерных деревьев камбий повреждается на большую высоту, чем у толстомерных (это обусловлено различиями в толщине коры у деревьев с разным диаметром).

8.1.4. Влияние огневых ранений на жизнеспособность различных древесных пород

Разные древесные породы характеризуются неодинаковой способностью сопротивляться непосредственному воздействию на них огня и различной жизнеспособностью в момент пожара и после него.

Сосна, например, огнестойка во время пожара и способна продолжительно сохранять жизнеспособность после него. У лиственницы послепожарная жизнеспособность, уступает жизнеспособности сосны в связи с большей восприимчивостью ее древесины к грибной инфекции в месте пожарных ранений. Ель и пихта не огнестойки во время пожара и не жизнестойки после него.

В некоторых работах, особенно американских ученых, огневым ранениям как первичным очагам поражения грибной инфекцией придается весьма большое значение. Огневые ранения являются наиболее распространенным видом ранений, через которые происходит заражение дереворазрушающими грибами. Это положение не всегда справедливо. Так, например, в серных лесах при всех пересчетах сохранившей жизнеспособность *сосны* с пожарными

подсушинами не было ни одного случая загнивания от них. В других районах Севера случаи загнивания наблюдались преимущественно у 200-летних и более старых деревьев, испытывавших многократное воздействие низовых пожаров, в результате которых образовались давно обнаженные подсушины. При анализе 61 модельного дерева сосны с пожарными подсушинами только 4 оказались с гнилью, причем, только у одного дерева гниль была связана с подсушиной.

Повышенная сопротивляемость сосны заражению грибной инфекцией через огневые ранения связана с обильным выделением смолы в месте ранений и последующим засмолением древесины в зоне пожарной подсушины.

Осмотр *лиственниц* после пожара показал, что 10–25 % деревьев с пожарными подсушинами, заражены дереворазрушающими грибами по месту ранений. При моделировании пожара, из 12 *лиственниц* с подсушинами 10 оказались с гнилью. У *лиственницы* нанесение поверхностных ран вызывает лишь незначительное смолывыделение. Эксперименты с подсочкой сибирской *лиственницы* на севере показали чрезвычайно пониженный выход терпентина даже при подсачивании ее внутренними ранениями. Огневые ранения *лиственницы* вызывают выделение гумми-камедообразной массы, имеющей клеящие свойства и хорошо растворяющейся в воде. Большая опасность заражения *лиственницы* грибной инфекцией, по сравнению с сосной, объясняется различной растворимостью гумми и смолы в воде.

Кедр занимает по огнестойкости и послепожарной жизнеспособности промежуточное место между сосной и елью. У *ели* все огневые повреждения подвергаются грибной инфекции. *Береза* и *осина* чувствительны к непосредственному воздействию на них сильного огня и после пожара обычно быстро поражаются грибами, но быстро восстанавливаются порослью. Обильной пневой порослью реагирует молодая *береза* на огневое ранение стволов, которые нередко отмирают. Восстановление *березы* пневой порослью после низового пожара лучше всего выражено в более сухих и более влажных местообитаниях. Число *берез*, давших поросль после низового пожара, доходило в условиях сухого бора-брусничника до 97 %, в сфагновом ельнике – до 90 %, а в зеленомошно-ягодниковом бору оно не превышало 40 %. При переходе пожара в подземную форму порослевое возобновление *березы* исключается. В свежем зеленомошно-ягодниковом бору ввиду значительного горючего мохового покрова огонь поражает нередко и корневую систему деревьев. Чем сильнее обожжен ствол у основания и задеты огнем корни с поверхности, тем глубже возникает поросль. При сильном обжигании ствола и корневой системы вблизи шейки корня *береза* восстанавливается уже в виде корневых отпрысков.

Известно, что после огневого воздействия *осина* дает обильные корневые отпрыски. Последующее же воздействие огня на эти отпрыски вызывает нередко образование от них пневой поросли. Обильной пневой порослью реагирует на огневое воздействие от низового пожара молодой *дуб* (в среднем по 10–20 побегов).

8.2. Скорость зарастания пожарных ран (на примере сосны)

Скорость зарастания огневых повреждений связана с величиной ранения по окружности и высоте, с возрастом и размерами дерева в момент пожара, с характером допожарного и послепожарного приростов, с числом пожаров.

После низовых пожаров рана затягивается прежде всего в верхней части ствола; в нижней же его части рана может зарастать более длительный период – до нескольких десятков лет (даже до 100 лет и более), т. е. полного зарастания может не наступить.

Для определения сроков полного зарастания подсушин определяют:

- ✓ протяжение ранения по окружности в год пожара (a , мм);
- ✓ величину современной незаросшей подсушины (a' , мм);
- ✓ число годовичных слоев в послепожарном приросте (n);
- ✓ величину послепожарного линейного увеличения прироста по окружности за один год (z);
- ✓ число лет после пожара (n).

Величину послепожарного линейного увеличения прироста по окружности за один год (z) рассчитывают по формуле:

$$z = \frac{a' - a''}{n},$$

где a'' – величина подсушины в момент полного зарастания практически равная нулю.

Тогда для полного зарастания, т. е., чтобы a перешло в a'' , потребуется следующее время:

$$t = \frac{a}{z} = \frac{an}{a' - a''}$$

Подсушины на молодых деревьях (до 50–60 лет) зарастают быстрее, чем на старых деревьях.

При равномерном отложении послепожарного прироста с обеих сторон раны она затягивается в радиальном направлении, т. е. по кратчайшему расстоянию, а, следовательно, с наибольшей скоростью.

При неодинаковом отложении послепожарного прироста, когда затягивание раны отклоняется от радиального направления, скорость зарастания раны уменьшается.

Послепожарный прирост тесно связан с характером прироста до пожара. Так, если с одной стороны раны допожарная зона имела широкие годовичные слои, а с другой – более узкие, т. е. дерево имело эксцентричную форму сечения, то и после пожара прирост неодинаков.

В одном и том же возрасте деревьев раны в зависимости от их величины и силы ранения затягиваются с неодинаковой быстротой. В возрасте дерева до 20 лет раны могут быть и незначительны, но настолько болезненны, что среди пораженных огнем деревьев происходит большой отпад.

К 40–50 годам пожарные ранения деревья переносят сравнительно легко. Изреживание в сосняках после пожара, вызывая увеличение прироста, также способствует ускорению зарастания пожарных ранений. Средняя продолжительность зарастания пожарных травм у шейки корня у сосны составляет 50 лет со значительными отклонениями от этой величины. Сроки зарастания ран более всего связаны с протяжением ранения по окружности ствола (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Скорость зарастания пожарных ран

№ модели	Год пожара (год исследования)	Возраст деревьев в момент пожара	Общее протяжение ранения по окружности a , мм	Протяжение ранения по окружности в момент исследования, a' , мм	Число годовичных слоев в послепожарном приросте, n	Удлинение прироста по окружности в 1 год, z , мм	Продолжительность зарастания, t , лет
101	1913	24	95	54,5	24	1,7	56
	1937	48	160	153	3	1,3	123
104	1913	24	184,5	135,5	24	2,04	90
	1937	48	235	233,5	3	3,83	60
106	1913	24	173	75	24	4,1	42
	1937	48	278	268	3	3,33	83
	1937	48	37	7	3	10	4
108	1913	23	57	5	24	9,19	26
	1937	47	68,5	4	3	4,2	4
	1937	47	39,5	10	3	2,95	13
129	1937	46	52	30	3	7,33	7
136	1937	49	21	8	3	4,33	5
137	1937	46	148	137	3	4,33	5
144	1909	19	102	70	28	1,14	90
	1937	47	164	156	3	2,67	60
145	1909	20	85	34,5	28	1,14	75
	1937	48	127,5	117,5	3	3,33	40
149	1937	48	71,5	61,5	3	3,33	22
204	1919	51	139,0	113,6	21	1,40	100
126	1886	52	24	2,0	54	0,41	58
	1937	103	33,8	27,8	3	2,0	17

№ модели	Год пожара (год исследования)	Возраст деревьев в момент пожара	Общее протяжение ранения по окружности a , мм	Протяжение ранения по окружности в момент исследования, a_1 , мм	Число годовичных слоев в послепожарном приросте, n	Удлинение прироста по окружности в 1 год, z , мм	Продолжительность зарастания, t , лет
130	1819	42	63,0	17,0	121	0,38	166
	1886	109	45,5	21,0	54	0,45	101
162	1886	190	202,5	157	54	0,84	241
244	1883	107	56,5	24	57	0,57	99
221	1919	129	42,0	17	21	1,2	35
252	1883	46	97	54,5	57	1,08	90
	1919	82	227	182	21	2,14	107
121	1886	54	99	5	54	1,74	57
223	1883	103	171	55	57	2,02	84
235	1919	31	53,5	198	21	1,69	32

С увеличением протяжения пожарных ранений удлиняется срок их зарастания, что особенно ясно выражено в молодых сосняках – от 20 до 50 лет.

Наиболее быстро затягиваются раны небольших размеров в молодом возрасте. У деревьев в молодых сосняках (от 20 до 50 лет) обычно наблюдается полное зарастание подсушин, если протяжение ран по окружности дерева не превышает 40 %. При этом зарастание продолжается не более 60 лет.

Следовательно, при проведении санитарных рубок в молодых сосняках, задетых низовыми пожарами, деревья с подсушинами протяжением более 0,4–0,5 окружности следует убирать.

У деревьев в сосняках старше 60–80 лет можно наблюдать полное зарастание подсушин, если ширина их составляет не более 5–10 % длины окружности дерева. Послепожарное осветление (в результате изреживания), вызывая увеличение прироста у оставшихся деревьев, ускоряет зарастание подсушин.

8.3. Изменение прироста и анатомические изменения в древесине

В древесине растущего дерева, подвергнувшегося действию пожара, можно выделить две части: допожарную и послепожарную. Границей между ними служит годовичный слой, соответствующий году пожара.

В допожарной части древесины различаются: часть, непосредственно пострадавшая от пожара и превратившаяся в так называемую защитную древесину, и часть, не тронутая пожаром. Часть древесины, непосредственно пострадавшая от пожара, или полностью зарастает вследствие отложения послепожарного прироста или лишь частично, по краям.

В послепожарной части древесины можно различить древесину, откладывающуюся вблизи пожарного ранения, так называемую раневую, и древесину, откладывающуюся на стороне, противоположной части ствола. Можно выделить еще древесину, занимающую промежуточное положение между участком раневой древесины и противоположным ей.

При повторных пожарах одна и та же часть древесины по отношению к предыдущему пожару будет послепожарной, а по отношению к последующим пожарам – допожарной.

В указанных частях древесины наблюдаются характерные различия в ширине годичных слоев, цвете древесины и других признаках.

При низовых пожарах степень пожарного ранения уменьшается по мере поднятия по стволу. Древесина торцового среза дерева на половине его высоты сильно отличается от древесины, поврежденной пожаром в нижней части дерева. При невысоких подсушинах значительная разница в форме поперечных сечений наблюдается у основания дерева и на высоте 1–2 м или даже нескольких дециметров от земли. Из всех древесных пород, включая в некоторых случаях и лиственницу, сосна наиболее благополучно переносит огневые ранения ствола, сохраняя часто жизнеспособность после низовых пожаров на длительный период – до своего естественного предельного возраста. Но то обстоятельство, что сосна даже после неоднократного воздействия низовых пожаров редко продолжает оставаться жизнеспособной, не означает, что пожары сказываются на последующей жизнеспособности сосны, на последующем формировании ее древесины.

Послепожарные изменения степени прироста деревьев и древостоев, сохранивших жизнеспособность, происходят в результате как непосредственного, так и косвенного влияния пожара; при этом *послепожарные изменения могут способствовать как снижению степени прироста, так и его увеличению:*

- ✓ снижение степени прироста в результате влияния вредителей; под влиянием послепожарного заболачивания; вследствие ухудшения биохимических и химических свойств почвы после пожара;

- ✓ увеличение степени прироста в результате послепожарного разболачивания; под влиянием «пожарных изреживаний» (особенно в зеленомошниках);

- ✓ изменение степени прироста: уменьшение или увеличение его в результате огневых ранений;

Часто очень сложно дифференцировать причины послепожарных изменений степени прироста деревьев.

Влияя на количественные изменения прироста сосны, *лесные пожары оказывают влияние и на анатомическое строение древесины, а, следовательно, и на ее качество.*

Для изучения изменений в древесине сосны, связанных с лесными пожарами, исследуют анатомию:

- ✓ *годовых слоев допожарного периода («допожарная зона»);*
- ✓ *послепожарных годовых слоев («послепожарная зона»);*
- ✓ *анатомия слоя, соответствующего году пожара («пожарный слой»).*

В слоях *допожарного* периода после пожара происходит интенсивное засмоление хвойных пород древесины, которое вблизи огневых травм может достигать до 35 %. Это сказывается на качестве древесины, поскольку оно повышает сопротивляемость заражению грибной инфекцией через огневые ранения. У других древесных пород огневые раны в подавляющем большинстве инфицируются.

В зоне *послепожарного* прироста происходят изменения в *ширине* и *структуре* годовых слоев. Для деревьев, травмированных низовыми пожарами в условиях зеленомошников, характерно увеличение ширины годового слоя в нижних частях стволов, в особенности на стороне, поврежденной пожаром.

Микроскопические исследования показали, что изменение после пожара ширины годовых слоев, как и прироста у нормальных деревьев, происходит в основном за счет изменения *количества трахеид*. С этим обычно связана и структура годовых слоев: изменения в количестве трахеид отражаются на диаметре трахеид и толщине их стенок.

Интенсивная работа камбия после пожара, выражающаяся в усиленном откладывании клеток, дальнейшие благоприятные условия для процесса утолщения стенок приводят к увеличению диаметра трахеид и толщины их стенок; резкое уменьшение числа клеток, обусловленное ослабленной деятельностью камбия после пожара, может привести к формированию клеток с малым диаметром и к уменьшению толщины их стенок.

В микростроении годовых слоев послепожарного прироста имеют место и некоторые аномалии, например, случаи «раздвоения» годового слоя. Наиболее заметно они проявляются в непосредственной близости от огневых ранений (рис. 8.1).

Наиболее серьезные изменения пожары могут вызывать в строении слоя, соответствующего году пожара. Изменения «пожарного слоя» связано с его промежуточным положением между допожарными и послепожарными годовыми слоями. В связи с этим отдельно ученые ставят и рассматривают вопрос об анатомии «пожарного слоя».

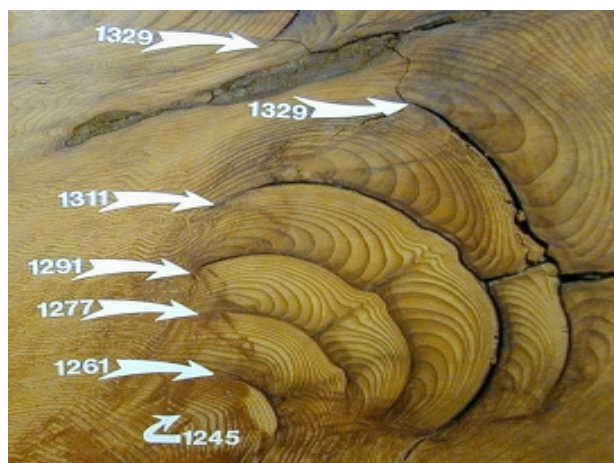


Рис. 8.1. Срез гигантской секвойи со следами пожаров и указанием дат, когда они произошли

Время пожара, сила его воздействия, степень болезненности дерева в результате нанесенного ранения – основные моменты, которые обуславливают характер формирования этого слоя. Для него характерны:

- ✓ резкое уменьшение количества трахеид (в результате весенних и ран-нелетних пожаров);
- ✓ тонкостенность и незначительный диаметр.

Влияние лесных пожаров сказывается на работе камбия не только в момент пожара или сразу после него, но и в последующие годы. Лесные пожары оказывают влияние на сезонную продолжительность работы камбия. В частности, в отношении сосны, испытавшей в условиях зеленомошника действие низового пожара, констатировали тенденции к более продолжительной работе камбия, которое выразилось:

- ✓ в несколько более раннем его пробуждении;
- ✓ в заметно более поздней стабилизации в числе откладываемых трахеид;
- ✓ в увеличении сроков процесса утолщения стенок трахеид.

Явления «раздвоенности» годичного слоя, характерные для ряда деревьев с огневыми травмами, связывают с тенденцией к удлинению продолжительности работы камбия и с появлением внешних факторов, приостанавливающих этот процесс, в частности, с ограниченным поступлением питательных веществ, необходимых для формирования клеточных оболочек. Тем более что количество образующихся клеток возрастает.

Механизмы, обуславливающие формирование и развитие живых клеток вблизи ранения, пока недостаточно изучены. Однако с анатомическим строением «пожарного слоя» весьма тесно связано качество древесины. И хотя древесина травмированного огнем дерева в целом имеет нормальное строение и в промышленном отношении вполне качественна, однако в травмированных огнем деревьях наблюдается образование так называемых *отлугов*, поэтому уча-

стки, примыкающие к месту огневого повреждения, при переработке необходимо исключать.

8.4. Воздействие пожаров на нижние ярусы леса и травянистую растительность

Низовые пожары оказывают более губительное действие на нижние ярусы леса, чем на древостой.

Живой напочвенный покров в лесу нередко представляет прекрасный горючий материал. В особенности выделяются в этом отношении кустистые лишайники – кладония приальпийская (*Cladonia alpestris*), кустистый лишайник (*Cladonia rangiferina*), кладония лесная (*Cladonia silvatica*) и зеленые мхи – мох этажный (*Hylocomium proliferum*) и мох Шребера (*Pleurozium schreberi*) и некоторые другие. Повышенной горючестью отличается вереск (*Calluna vulgaris* L.), который определяет пожарные условия целых массивов леса. Горимость сосновых лесов неодинакова в районах, где возможно образование производных вересковых типов леса и вне естественных пределов распространения этого растения. С несколько большим трудом, чем вереск, загораются ягодники рода Вакциниум (*Vaccinium*).

К опасным в пожарном отношении растениям напочвенного покрова можно отнести и многие быстро высыхающие злаки: вейник (*Calamagrostis*), мятлик (*Poa*), полевица (*Agrostis*), белоус (*Nardus*), овсяница (*Festuca*), луговик (*Deschampsia*).

Слабой загораемостью, а часто даже и противодействием распространению огня, отличаются широколиственные травы (в особенности борец (*Aconitum*), таволга (*Filipendula*), герань (*Geranium*), сныть (*Aegopodium*), кошачья лапка (*Antennaria dioica*), толокнянка (*Arctostaphylos uva ursi*), кожистые листья которой, не загораются от горящей спички, и куртинки толокнянки остаются целыми во время низового пожара небольшой силы. К огнестойким растениям можно отнести также мышиный горошек, гравилат, звездчатку, лесной купырь, луговую чину, марьянник, купальницу и многие другие растения, характерные для лесных просек, опушек, вырубок.

Довольно хорошо противостоят огню багульник болотный (*Ledum palustre*) и плаун сплюснутый (*Lycopodium complanatum*). Вкрапления сфагнума (*Sphagnum*) и кукушкина льна (*Polytrichum commune*) препятствуют загоранию и продвижению огня.

Огневое воздействие в ряде случаев не приводит к полному отмиранию растений. Растения, обладающие способностью вегетативного размножения от корневищ, придаточных почек на корнях и пр., в случае их сохранения восстанавливаются даже при полном уничтожении надземных органов.

Из северных кустарников способностью восстанавливаться после огневого воздействия обладают: малина (*Rubus idaeus* L.), жимолость (*Lonicera coerulea* L.), шиповник (*Rosa acicularis* Lindl.), багульник (*Ledum palustre* L.) и др. Способность оправляться от огневого воздействия заметно выражена у ря-

бины (*Sorbus aucuparia* L.), восстанавливающейся пневой порослью. В Сибири даже после сильных пожаров хорошо восстанавливается порослевым путем ольха (*Alnus fraticosa*). Порослевым же путем после пожара хорошо восстанавливается ракитник (*Cytisus ratisbonensis* Schaeff).

Из мелких кустарников, способных переносить огневые ранения и отрастать, можно отметить бруснику (*Vaccinium vitis idaea* L.), голубику (*Vaccinium uliginosum* L.), чернику миртолистную (*Vaccinium myrtillus*), клюкву обыкновенную (*Oxycoccus palustris* Pers.), даже вереск (*Calluna vulgaris* Salisb.).

В районах Сибири еще не так давно существовал даже своеобразный «брусничный промысел». Он заключался в том, что местное население периодически поджигало сосновые боры с угнетенной чахлой брусникой в целях получения больших урожаев: через два-три года после пожара отросшие надземные органы брусники достигали пышного развития и начинали обильно плодоносить.

Процесс отрастания у клюквы обыкновенной (*Oxycoccus palustris* Pers.) и голубики (*Vaccinium uliginosum* L.) протекает медленнее. По исследованиям, проведенным в Норвегии, вереск может отрастать в виде поросли от придаточных почек в нижних частях стеблей, если пожар произошел весной (после летних и осенних пожаров вереск погибает целиком).

Из травянистых растений особенно быстро восстанавливаются после огневого воздействия иван-чай (*Epilobium angustifolium* L.) и многие злаки, из которых особенно можно отметить вейник.

Иван-чай размножается особенно интенсивно от многочисленных придаточных почек на корнях («корни размножения»), но, кроме того, он может давать и «пневую поросль», которая обнаруживается уже через несколько дней после пожара. Иван-чай можно считать классическим обитателем лесных гарей умеренного пояса обоих полушарий не только в силу высокой его способности вегетативного, но и семенного размножения. Наилучшее развитие иван-чай получает на месте ельников-зеленомошников высокой производительности.

Заметно выражена способность отрастания после низового пожара у надземной части костяники (*Rubus saxatilis* L.), герани лесной (*Geranium silvaticum* L.), осоки (*Carex* Sp.), плауна сплюснутого (*Lycopodium complanatum* L.) и линнеи северной (*Linnaea borealis* Gronow).

Случаи восстановления жизнеспособности вегетативным способом при слабых надпочвенных пожарах наблюдаются и среди растений с неглубокими корневищами, например, у грушанки, майника и некоторых других спутников еловых лесов. К этому можно добавить мхи: лептобриум грушевидный (*Leptobryum pyriforme* Hedw.), политрихум сжатый (*Polytrichum strictum*), политрихум волосконосный (*Polytrichum piliferum*). Последние два характерны для более сухих почв. Поселение маршанции и лепторбиума грушевидного (*Leptobryum pyriforme*) происходит на севере также на лесосеках после сжигания куч и валов.

После пожаров в лишайниковых борах и на месте еловых зеленомошников обычно поселяется вереск вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*), либо вейник наземный (*Calamagrostis epigeios Roth*). В процессе развития вейник может вытеснить других представителей травяного покрова (иван-чай).

Процесс восстановления кустистых лишайников после пожара идет чрезвычайно медленно и растягивается не менее чем на три-четыре десятилетия в типе лишайникового бора. Первыми из лишайников появляются обычно бокальчатые: кладония бесформенная (*Cladonia deformis*), кладония стройная (*Cl. Gracilis*) и др., но лишь кустистые лишайники, образующие сплошной ковер, способны вытеснить вейник под разреженным пожаром пологом древостоя в сухом бору-беломошнике.

В тундрах европейского Севера, Сибири, Дальнего Востока пожары, уничтожая лишайниковый покров, выводят из строя оленьи пастбища на 10–30 лет.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие изменения почвы возможны после пожара?
2. Какие изменения древесной растительности возможны после пожара?
3. Какие примеры непосредственного влияния пожаров Вы можете привести?
4. Какие примеры косвенного влияния пожаров Вы можете привести?
5. Как разграничить прямое и косвенное влияние пожаров на лесную растительность?
6. Почему вопросы единой типологии и единой классификации гарей столь сложны?
7. Какие принципы положены в основу классификации гарей?
8. Как послепожарная динамика изменения горельников связана с природными территориальными образованиями?
9. Дайте характеристику гарей с отсутствием древостоев.
10. Дайте характеристику гарей с древостоями, утратившими жизнеспособность.
11. Дайте характеристику гарей с древостоями, сохранившими жизнеспособность.
12. Каково влияние насекомых на состояние гарей?
13. Какие деревоокрашивающие грибы вы знаете?
14. Назовите основные виды дереворазрушающих грибов.
15. Каково влияние дереворазрушающих грибов на древесину?
16. Какие изменения почв возможны после пожаров в различных видах леса?
17. Как пожар сказывается на качестве (физико-механических свойствах) древесины?
18. В какие сроки должна быть произведена заготовка древесины в сухостойных горельниках?

19. В какие сроки должна быть произведена заготовка древесины в ва-
лежных горельниках?
20. Как проявляются огневые повреждения деревьев?
21. Зависит ли степень огневого повреждения деревьев от их возраста?
22. Зависит ли степень огневого повреждения деревьев от их породы?
23. Зависит ли степень огневого повреждения деревьев от их диаметра?
24. Что такое «пожарная подсушина», стадии ее образования, изменения,
и последствия для дерева?
25. Какова скорость зарастания пожарных ран?
26. Как влияет пожар на нижние ярусы леса и травянистую раститель-
ность?
27. Приводит ли пожар к полному отмиранию растений?
28. Какие травянистые растения и мхи обладают повышенной горюче-
стью?
29. Какие травянистые растения устойчивы по отношению к огню?
30. Какие растения из травянистых очень быстро восстанавливаются по-
сле пожара, а какие, напротив, медленно?
31. Какие растения из кустарниковых очень быстро восстанавливаются
после пожара, а какие, напротив, медленно?

9. Применение управляемого огня в лесном хозяйстве

Лесоводы-практики используют огонь, как в целях профилактики лесных пожаров так и при непосредственной борьбе с пожарами. Не вызывают сомнений полезность и эффективность создания противопожарных полос путем сжигания хлама и другого лесного горючего материала посредине опашанной по краям полосы; сжигание может осуществляться и в сочетании с окаймлением полосы химикатами. И в том, и в другом случаях может быть достигнута большая ширина противопожарной полосы при наименьших затратах.

Рассмотрим два варианта контролируемого выжигания на различных территориях.

9.1. Контролируемое выжигание на сплошных вырубках

На сплошной захлавленной вырубке без подроста и самосева, с потенциальным или уже произошедшим задержанием проведение пала с управляемым огнем логически оправдано. Обработанная огнем площадь, уменьшая пожарную опасность, становится подготовленной для естественного возобновления леса и значительно облегчает проведение искусственных лесопосадок.

Такие палы надо проводить под контролем и соблюдением технических норм. Проведение контролируемого сплошного пала на вырубке, прежде всего, должно гарантировать сохранность стен леса, а также источников обсеменения на самой вырубке. Для этого необходимо удалить порубочные остатки от стен леса, проложить вдоль них минерализованные полосы, обеспечить безопасность внутрилесосечных источников обсеменения.

Пал необходимо проводить отдельными блоками. Величина и расположение этих блоков зависят от характера и количества лесных горючих материалов, и особенно от степени захлавленности. Блоки постепенно соединяют между собою, но могут быть варианты и без сплошного смыкания их, т. е. в виде комбинированной очистки лесосек.

Необходимо учитывать сезон и условия погоды, рельеф и различия в огнестойкости деревьев разных древесных пород, разного возраста и состояния.

Целесообразность применения управляемых палов на вырубках подтверждается и современным опытом зарубежных стран – Финляндии, Канады, США и др.

9.2. Контролируемое выжигание в лесах

Использование огня под пологом леса для уничтожения напочвенного покрова, которое проводят в целях устранения опасности возникновения лесных пожаров и одновременно для естественного возобновления леса – это технически более сложная и опасная работа, чем выжигание на сплошных вырубках.

Как показывает опыт, полученный в нашей стране и за рубежом, контролируемое выжигание напочвенного покрова под пологом леса в качестве профилактического противопожарного средства может достигать этой цели только при определенных условиях.

При применении контролируемого профилактического пала под пологом необходимо учитывать характер леса – тип леса, состав древостоя, его возраст, состояние, структуру насаждения, рельеф, условия погоды, технические средства зажигания. Первостепенное значение имеет квалификация организаторов и исполнителей по проведению контролируемого выжигания в лесах.

Выжигание горючих материалов производят частями. Намеченный участок разделяют на отдельные площадки, клетки и окаймляют (как внутри, так и с периферии) минерализованными полосами. Необходимо также использовать все возможности примыкания участка к естественным и искусственным разрывам – водоемам, дорогам, пойменным увлажненным местоположениям, логам и пр.

Выжигание по склонам ведут сверху вниз. В равнинных условиях – от центра к периферии, а по мере разгорания и по периферии; используют и другие варианты, которые определяются мозаикой напочвенного покрова, размещением деревьев и другими обстоятельствами.

Палы нельзя проводить в еловых, пихтовых и других насаждениях из чувствительных к огню древесных пород.

Проведение контролируемого выжигания в ряде типов сосновых и лиственных лесов, можно начинать только с возраста, при котором древесная порода становится огнестойчивой. Для сосны на европейском Севере – это 50 и более лет, для сосны Приангарья – 30–40 и более лет. К этой рекомендации надо подходить очень осторожно. Далеко не во всех случаях она приемлема.

Пример: Приангарье. Объект – сосновые молодняки II класса возраста зеленомошно-брусничного типа леса, полигон – компактный участок леса площадью около 4 га, состав древостоя 10С, сомкнутость 0,7, густота 12 тыс. шт./га, ср. диаметр – 6 см, высота – 8 м, начало кроны на высоте 2 м. В живом напочвенном покрове преобладают брусника и зеленые мхи, занимающие в совокупности 80 % площади полигона.

Полигон был разделен минерализованными полосами (трактор, плуг ПЖЛ-70) на клетки размером 20х30 м. Ширина полос составляла 1,4; 2,8; 4,2 м. В 1968–1969 гг. на клетках проведено 12 огневых экспериментов, которые по интенсивности горения имитировали профилактические палы при различном состоянии погоды (температура воздуха от 17 до 27,5 °С, относительная влажность 25–60%, дефицит влажности 5,5–23,5 Мб, скорость ветра на высоте 2 м под пологом леса не превышала 1,5 м/с). Зажигание было применено в центре выжигаемого участка, горение постепенно распространялось к периферии. Палы проводили в период с 12 до 18 ч. Средняя продолжительность времени на

выжигание клетки площадью 0,06 га составила 77 мин при варьировании от 25 до 180 мин.

Проведенные палы по интенсивности горения аналогичны низовым пожарам малой степени интенсивности горения. Через два года после проведения палов слабой интенсивности горение при новом зажигании не распространялось, на третий год загорание происходило лишь на локальных площадках с сохранившимися допожарными куртинками напочвенного покрова.

К сожалению, подобных экспериментов было проведено недостаточно, и для выявления возможности распространения повторных пожаров, и оценки их интенсивности на участках леса, пройденных палами, необходимы дальнейшие исследования. Нужны многочисленные эксперименты, в том числе с применением палов различной интенсивности для установления оптимальных режимов, характеризующих уничтожение запасов лесных горючих материалов на длительное время и в то же время обеспечивающих сохранение жизнеспособности древостоев.

Должен быть расширен лесотипологический диапазон. Можно заранее предполагать, что, например, в лишайниковых сосняках после пала даже слабой интенсивности горючий материал в виде лишайников не восстановится на протяжении двух-трех и даже четырех десятилетий. В то же время в зеленомошных типах с плотным моховым покровом и мощной подстилкой потребуются более интенсивное прожигание, чтобы снизить пожарную опасность в лесу на длительный период и обеспечить лесовосстановительный эффект. Кроме того необходимо обеспечение пожарной безопасности для леса при проведении палов.

В некоторых зарубежных странах, в особенности в США, накоплен производственный опыт проведения палов под пологом леса в целях уничтожения горючего материала и таким путем устранения пожарной опасности.

В США контролируемое выжигание применяют, главным образом, в сосновых лесах юга, где опасность возникновения пожаров, и их разрушительная сила значительны. В этих лесах, состоящих преимущественно из длиннохвойных сосен, накапливается толстый слой опада из легко воспламеняемой хвои, а также других горючих материалов. Контролируемое выжигание «Prescribed burning» (дословно «предписываемое выжигание») является в этих условиях радикальным противопожарным профилактическим средством и лесоводственным приемом. Его применяют при таких условиях погоды, влажности горючих материалов и почвы, которые позволяют ограничить распространение огня по предусмотренной площади, и в то же время создать необходимую интенсивность нагрева и скорость распространения. Способы «предписываемого выжигания» построены с расчетом получения максимума доходных полезностей и с минимумом вреда при приемлемых затратах.

Контролируемое выжигание по разработанной методике и с учетом местных особенностей применяют в настоящее время в США широко, хотя случается, что оно приводит и к образованию неуправляемого лесного пожара, например, вследствие ошибки в прогнозе погоды.

Небезынтересно отметить, что истоки, породившие идею контролируемого выжигания в сосновых лесах, являются идентичными и в нашей стране, и в США.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью проводят контролируемое выжигание на сплошных вырубках?
2. Какие работы необходимо осуществить до проведения выжигания на сплошных вырубках?
3. Перечислите основные правила проведения выжигания на сплошных вырубках.
4. Какие факторы необходимо учитывать при проведении выжигания на сплошных вырубках?
5. Какие факторы необходимо учитывать при проведении профилактического пала под пологом леса?
6. Перечислите основные правила проведения выжигания горючих материалов под пологом леса.
7. Перечислите основные правила проведения выжигания горючих материалов под пологом леса на склонах.
8. Перечислите основные правила проведения выжигания горючих материалов под пологом леса на равнинных участках.
9. В каких лесах запрещено проводить контролируемые выжигания ЛГМ под пологом леса?

10. Порядок определения ущерба, причиненного уничтожением или повреждением леса в результате поджога или небрежного обращения с огнем.

Порядок определения потерь товарной ценности леса в результате пожара

Учет повреждений и определение потерь древесины производятся непосредственно после ликвидации пожаров. С этой целью в установленном порядке определяют и уточняют:

- ✓ местонахождение и величину выгоревшей площади (в том числе лесной и лесопокрытой);
- ✓ видовой состав;
- ✓ преобладающие породы и возраст древостоев;
- ✓ возможность реализации древесины из поврежденных огнем древостоев;
- ✓ составляют карту пожарища с привязкой его контуров к ближайшим просекам или другим ориентирам.

Реализация древесины считается возможной, если разработка горельника и вывозка заготовленной древесины могут быть обеспечены не позднее одного года после пожара.

10.1. Определение потерь древесины на корню в результате верховых и подземных пожаров

Верховые и подземные пожары часто приводят древостой к гибели, часть стволовой древесины сгорает или полностью обесценивается. Поэтому в тех случаях, когда реализация древесины из древостоев, поврежденных такими пожарами, невозможна, то в потери включают всю древесину пройденной пожарами площади.

При возможности реализации древесины в потери включают полностью сгоревшую, а также не пригодную к использованию древесину, количество которой определяют по данным табл. 10.1 в процентах от общего запаса.

Размер общих потерь древесины (м^3) определяют, исходя из величины покрытой лесом площади, пройденной пожаром, и запаса древесины на 1 га до пожара, который устанавливают по материалам лесоустройства. При отсутствии материалов лесоустройства – глазомерно по аналогичным древостоям на соседних участках.

Для территории, где возможна реализация древесины, полученный результат корректируют по величине потерь, выраженных в % отн. из табл. 10.1.

Пример. Верховым устойчивым пожаром пройдена покрытая лесом площадь размером 120 га. Преобладающая порода – сосна. Древостой: спелые. Запас на 1 га – 210 м^3 .

Общие потери древесины составляют:

1) в случаях, если ее реализация невозможна:

$$120 \text{ га} \cdot 210 \text{ м}^3 = 25200 \text{ м}^3;$$

2) в случае, если ее реализация возможна:

$$25200 \text{ м}^3 \cdot 0,20 = 5040 \text{ м}^3.$$

Таблица 10.1

Зависимость потерь древостоя от типа пожара (отн. %)

Вид пожара	Древостои приспевающие и перестойные				Средневозрастные древостои			
	Сосна	Лист-венница	Кедр	Ель, пихта	Сосна	Лист-венница	Кедр	Ель, пихта
Верховой устойчивый	20	—	15	30	50	—	30	70
Верховой беглый	15	—	10	20	30	—	20	60
Подземный	40	20	30	65	70	40	60	85

10.2. Определение потерь древесины на корню в результате низовых пожаров

Для определения потерь древесины от низовых пожаров в тех случаях, когда реализация ее невозможна, устанавливают процентное соотношение площадей по степени повреждения древостоев (табл. 10.2).

После определения соотношения площадей по степени повреждения древостоев по табл. 10.2 устанавливают процент отмершей древесины и ожидаемого последующего отпада по отношению к общему запасу древесины.

По имеющимся исходным данным о степени повреждения древостоев низовыми пожарами, проценте отмершей древесины и ожидаемого последующего отпада определяют величину общих потерь древесины в м³. Для этого величины каждой части площади горельника с соответствующей степенью повреждения древостоев умножают на величину запаса древесины на 1 га, на проценты отмершей древесины и ожидаемого последующего отпада. Полученные произведения затем суммируют.

Таблица 10.2

Процентное соотношение площадей с различной степенью повреждения древостоев для каждого выдела

Степень повреждения древостоев низовыми пожарами	Процентное распределение покрытой лесом площади, пройденной низовым пожаром, по степени повреждения древостоев						
	Сосна	Лиственница	Кедр	Ель	Пихта	Береза	Др. мягко-листв.
Слабая	40	30	30	5	10	40	70
Средняя	35	30	25	25	30	30	30
Сильная	25	40	45	70	60	30	–
Итого	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 10.3

Процент отмершей древесины и процент ожидаемого отпада

Степень повреждения древостоев низовыми пожарами	Класс возраста древостоев	Процент отмершей древесины и процент ожидаемого отпада					
		Сосна	Лиственница	Кедр	Ель, пихта	Береза	Осина
Слабая	III–IV	15	–	15	40	50	10
	V	10	–	10	30	40	5
	VI	7	–	10	15	25	–
	VII–VIII	5	5	7	10	15	–
Средняя	III–IV	25	–	25	80	70	25
	V	20	10	20	50	50	15
	VI	15	12	15	60	30	10
	VII–VIII	10	15	10	30–40	25	–
Сильная	III–IV	40	5	50	100	100	35
	V	35	10	40	100	100	30
	VI	30	15	30	80	80	30
	VII–VIII	20	20	25	70	60	15

Примечание: в случае весенних беглых пожаров процент отмершей древесины и ожидаемого последующего отпада устанавливается как при слабой степени повреждения древостоев на всей покрытой лесом площади, пройденной пожаром.

Пример. Пройденная низовым устойчивым пожаром покрытая лесом площадь составляет 80 га. Преобладающая порода – ель. Древостой IV класса возраста. Запас на 1 га – 180 м³.

В соответствии с данными табл. 10.2, общая площадь горельника по степени повреждения древостоев распределится следующим образом:

- ✓ со слабой степенью повреждения: $80 \text{ га} \cdot 0,05 = 4 \text{ га}$;
- ✓ средней степенью повреждения: $80 \text{ га} \cdot 0,25 = 20 \text{ га}$;
- ✓ с сильной степенью повреждения: $80 \text{ га} \cdot 0,70 = 56 \text{ га}$.

Используя данные табл. 10.3, определим потери древесины:

✓ на площади со слабой степенью повреждения: $4 \text{ га} \cdot 180 \text{ м}^3 \cdot 0,40 = 288 \text{ м}^3$;

✓ на площади со средней степенью повреждения: $20 \text{ га} \cdot 180 \text{ м}^3 \cdot 0,8 = 2880 \text{ м}^3$

✓ на площади с сильной степенью повреждения: $56 \text{ га} \cdot 180 \text{ м}^3 \cdot 1,0 = 10080 \text{ м}^3$.

Общие потери древесины составляют:

$$288 + 2880 + 10080 = 13248 \text{ м}^3.$$

Если эту древесину можно реализовать на корню, то при оценке ущерба от низового пожара в расчет ущерба ее не включают.

10.3. Порядок проведения оценки потерь древесины на корню

Порядок и условия проведения оценки потерь древесины на корню:

✓ определяют среднюю высоту и средний диаметр преобладающей породы (по таксационным описаниям);

✓ если пожар охватил насаждения нескольких таксационных выделов, определяют средневзвешенную высоту и диаметр;

✓ при отсутствии таксационных материалов среднюю высоту и диаметр определяют глазомерно по аналогичным древостоям на соседних участках;

✓ по товарным таблицам, в соответствии с разрядом высоты и диаметра древесины, определяют процентное соотношение выходов деловой древесины с разбивкой на крупную, среднюю, мелкую и дрова;

✓ по полученному процентному соотношению разбивают весь объем потерь древесины в результате пожаров;

✓ оценка потерь производится по соответствующим поясам и разрядам такс на древесину, отпускаемую на корню;

✓ в полегающих, почвозащитных, берегозащитных лесах, в государственных заповедниках, курортных лесах, лесопарках, лесах зеленых зон вокруг городов и промышленных предприятий, а также в ценных лесных массивах указанная оценка *увеличивается вдвое*;

✓ при полной гибели культур и молодняков естественного происхождения на всей площади, пройденной огнем, стоимость выращивания лесных культур или молодняков взамен погибших определяют исходя из средней стоимости по лесохозяйственному предприятию производства культур и ухода за ними до возраста смыкания крон;

✓ стоимость работ по очистке территории от захламленности, образовавшейся в результате пожара, исчисляют из расчета количества отмершей древесины и последующего отпада и средней стоимости по лесхозу заготовки 1 м^3 древесины при санитарных рубках.

В расходы по тушению пожара, которые учитывают при определении ущерба, включают:

✓ заработную плату и начисления на заработную плату за время работы на пожаре всех привлеченных к тушению (включая команды пожарно-химических

станций, парашютные, авиадесантные и пр.);

- ✓ оплату использованных при тушении пожара транспортных средств, машин и других механизмов;

- ✓ стоимость материалов (химикатов, взрывчатых веществ и др.), израсходованных при тушении пожара;

- ✓ стоимость летного времени самолетов и вертолетов, затраченного на обнаружение и тушение пожара¹;

- ✓ прочие расходы, связанные с тушением пожара (почтовые, оплата проезда рабочих и провоза средств тушения и пр.).

Ущерб от уничтожения или повреждения пожаром принадлежащей лесхозу заготовленной лесной продукции определяют исходя из преysкурантной стоимости этой продукции и процента потерь от товарной ценности.

Вопросы для самоконтроля

1. В какой период необходимо проводить учет повреждений и определение потерь древесины в результате пожара?

2. Какие работы проводят при учете повреждений и определении потерь в результате пожара?

3. При каких условиях считают, что реализация древесины после пожара возможна?

4. Что включает в себя прямой ущерб от пожаров?

5. Что такое косвенный ущерб от пожаров?

6. Как производят определение потерь древесины на корню в результате верховых и подземных пожаров (а – если реализация древесины возможна, б – если реализация древесины невозможна)?

7. Как производят определение потерь древесины на корню в результате низовых пожаров?

8. Как оценивают потери древесины, если таксационные описания имеются?

9. Как оценивают потери древесины, если таксационные описания отсутствуют?

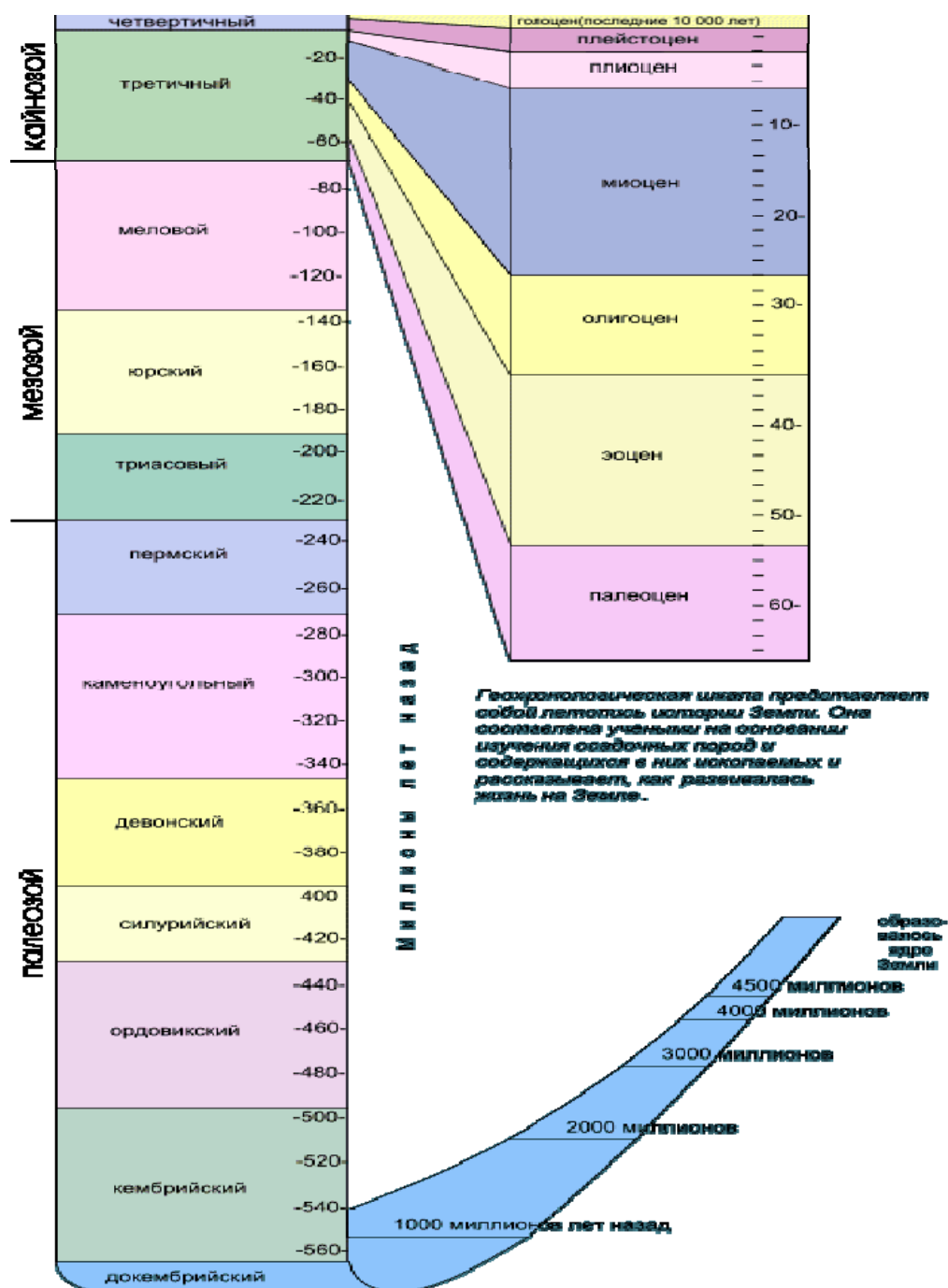
10. Учитывают ли стоимость выращивания культур и молодняка естественного происхождения при учете потерь?

11. Какие статьи расходов при тушении пожаров включают при определении ущерба?

¹ Заработную плату парашютных и авиадесантных команд, стоимость израсходованного летного времени летательных аппаратов включают в расчет расходов по тушению пожара на основании соответствующих справок баз авиационной охраны лесов или их оперативных отделений.

Приложение

Геохронологическая шкала
(http://www.darwin.museum.ru/dino/be_dino/)



Список использованной и рекомендуемой литературы

1. ГОСТ Р 22.1.09-99. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования [Электронный ресурс]. – Введ. 2000–01–01. – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/gost/22109-99/> (дата обращения 09.04.2013).
2. Абдурагимов И. М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учеб. пособие для вузов / И. М. Абдурагимов. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
3. Барановский Н. В. Концепция развития российской системы прогноза лесной пожарной опасности / Н. В. Барановский // Вестник ХНТУ. Информационные технологии. – 2011. – Т. 44, № 2. – С. 220–225.
4. Барталев С. А. Спутниковый мониторинг бореальных экосистем [Электронный ресурс] / С. А. Барталев, Е. А. Лупян // Природа. – 2005. – № 9. – Режим доступа: http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/09_05/IKIAN_5.PDF (дата обращения 09.06.2013).
5. Вакуров А. Д. Лесные пожары на севере / А. Д. Вакуров. – М. : Наука, 1975. – 100 с.
6. Валендик Э. Н. Основы пожароуправления в бореальных лесах Евразии : учеб. пособие / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, Р. Ласко. – М. : Алекс, 2004. – 208 с.
7. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : ДЭКС-ПРЕСС. – 312 с.
8. Дорст Ж. До того, как умрет природа [Электронный ресурс] / Ж. Дорст. – М. : Прогресс, 1968. – 480 с. – Электрон. версия печат. публ. – Режим доступа: http://igrunov.ru/vin/vchk-vin-discipl/ecology/books/vchk-vin-discipl-esol-dorst-ch_1.html (дата обращения 09.06.2013).
9. Залесов С. В. Лесная пирология : учеб. пособие / С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. лесотехн. акад., 1998. – 296 с.
10. Математическая теория горения и взрыва : учебник для вузов / Я. Б. Зельдович [и др.]. – М. : Наука, 1980. – 479 с.
11. Иванов А. В. Лесная пирология: конспект лекций : учебник / А. В. Иванов. – Йошкар-Ола : ГОУ ВПО Марийского ГУ, 2010. – 276 с.
12. Кларк Дж. Г. Доисторическая Европа : экон. очерк / Дж. Г. Кларк. – М. : Изд-во иностр. лит., 1953. – 332 с.
13. Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва : учебник для вузов / А. Я. Корольченко. – М. : Пожнаука, 2007. – 266 с.
14. Лесной дозор [Электронный ресурс] : информ. сайт. – Режим доступа: <http://www.lesdozor.ru/ru/problemny-obnaruzheniya-lesnyh-pozharov/statisticheskie-dannye> (дата обращения 09.06.2013).
15. Лесной план Иркутской области [Электронный ресурс]. – Иркутск ; СПб., 2008. – 905 с. – Электрон. версия печат. публ. – Режим досту-

па:<http://www.irkobl.ru/sites/les/news/exhibitions/lesno.pdf> (дата обращения 09.06.2013).

16. Мелехов И. С. Лесная пирология : учеб. пособие по образованию в области лесного дела / И. С. Мелехов, С. И. Душа-Гудым, Е. П. Сергеева. – М. : МГУЛ, 2008. – 291 с.

17. Мелехов И. С. Лесная пирология : учеб. пособие / И. С. Мелехов. – 5-е изд., стер. – М. : МЛТИ, 1985. – 296 с.

18. Окружающая среда и здоровье населения России [Электронный ресурс] : Web-Атлас. – Режим доступа: <http://www.sci.aha.ru/ATL/ra23a.htm> (дата обращения 09.04.2013).

19. Площади учтенных лесов России по состоянию на 01.01.2012 г. по данным Рослесхоза [Электронный ресурс] // Лесной форум Гринпис. – Режим доступа: <http://forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=12232> (дата обращения 09.06.2013).

20. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. – М., 1994. – Кн. 2 : Методика оценки последствий лесных пожаров / С. И. Пехорошев [и др.] ; ВНИИ ГОЧС.

21. Софронов М. А. Огонь в лесу / М. А. Софронов, А. Д. Вакуров. – Новосибирск : Наука, 1981. – 124 с.

22. Щетинский А. Е. Авиационная охрана лесов : учеб. пособие для летчиков-наблюдателей / А. Е. Щетинский. – М. : ВНИИЛМ, 2001. – 488 с.

Учебное издание

Каницкая Людмила Васильевна

ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Подготовлено к печати М. С. Александровой

ИД № 06318 от 26.11.01.

Подписано в печать 19.06.13. Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 12,9. Тираж 100 экз. Заказ .

Издательство Байкальского государственного университета
экономики и права.

664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11.

Отпечатано в ИПО БГУЭП.