



ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВЫЖИГАНИЙ В ЛЕСАХ СИБИРИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВПО "СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЛЕСА им. В.Н.СУКАЧЕВА

ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВЫЖИГАНИЙ В ЛЕСАХ СИБИРИ

Коллективная монография

Ответственный редактор

Е.С.Петренко

Красноярск

2011

УДК 630-432.1
Т 38

А в т о р ы

**Валендик Э.Н., С.В.Верховец, Е.К.Киселяхов, Г.А.Иванова, А.В.Брюханов,
И.В.Косов, И.Г.Голдаммер**

Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири: коллективная монография /
Валендик Э.Н., С.В.Верховец, Е.К.Киселяхов, Г.А.Иванова, А.В.Брюханов, И.В.Косов,
И.Г.Голдаммер. Отв. Ред. Е.С.Петренко. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т,
2010. – 160 с.

В монографии рассмотрены результаты опытно-производственных выжиганий на вырубках в темнохвойных и сосновых лесах с целью снижения пожарной опасности и создания условий для лесовосстановления не только саженцами, но и посевом семян хвойных пород. Приведены материалы о состоянии вырубок, степени захламленности порубочными остатками, их естественном и искусственном лесовосстановлении, последствиях пожаров. Предложены методы и технологии применения управляемого огня для утилизации порубочных остатков сплошным палом.

Приводятся результаты предписанных выжиганий в лесах, поврежденных энтомовыми вредителями, или находящихся вблизи населенных пунктов, с целью снижения пожарной опасности и стимулирования лесовосстановительных процессов, описаны выжигания травянистой растительности в лесостепной зоне и даны рекомендации по их проведению.

Книга рассчитана на специалистов в области лесного хозяйства, лесопользователей и охраны природы, преподавателей и студентов вузов.

Табл. 47 Илл. 51. Библиогр 157.

Р е ц е н з е н т ы

доктор сельскохозяйственных наук С.К.Фарбер
доктор биологических наук В.В.Кузьмичев

Утверждено к печати

Институтом леса им. В.Н.Сукачева СО РАН

© Валендик Э.Н., С.В.Верховец, Е.К.Киселяхов, Г.А.Иванова, А.В.Брюханов, И.В.Косов, И.Г.Голдаммер
© Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, 2011
© Сибирский федеральный университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДПИСАННЫХ ВЫЖИГАНИЙ В РОССИИ.....	8
ГЛАВА 2. ПОЖАРНЫЕ РЕЖИМЫ РАЙОНОВ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДПИСАННЫХ ВЫЖИГАНИЙ В ЛЕСАХ СИБИРИ.....	13
2.1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	15
2.2. ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ.....	16
2.3. РЕКОНСТРУКЦИЯ ДАТ ПОЖАРОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ.....	19
2.4. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПОЖАРОВ В ЛЕСОСТЕПНЫХ СОСНЯКАХ.....	24
2.5. РЕКОНСТРУКЦИЯ ХРОНОЛОГИИ ПОЖАРОВ В ГОРНЫХ СОСНЯКАХ.....	25
ГЛАВА 3. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ВЫРУБКАХ В РАВНИН- НЫХ И НИЗКОГОРНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ.....	29
3.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА.....	29
3.2. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ.....	30
3.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫРУБОК.....	33
3.4. ПОЖАРООПАСНОСТЬ НА ВЫРУБКАХ.....	37
3.5. ТЕХНОЛОГИИ ВЫЖИГАНИЙ.....	42
3.6. ОСОБЕННОСТИ ВЫЖИГАНИЙ.....	50
ГЛАВА 4. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ВЫРУБКАХ В ГОРНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ.....	61
4.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	62
4.1.1. РЕЛЬЕФ, КЛИМАТ, ПОЧВЫ.....	62
4.1.2. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ.....	64
4.1.3. ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ.....	65
4.2. ТИПЫ ВЫРУБОК.....	70
4.3. ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКОВ ЛЕСА И ВЫРУБОК.....	74
4.4. ТЕХНОЛОГИИ ВЫЖИГАНИЙ.....	77
4.5. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГОРЕНИЯ.....	80

4.6.	СОСТОЯНИЕ ВЫРУБОК ПОСЛЕ ВЫЖИГАНИЯ.....	85
ГЛАВА 5. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ВЫРУБКАХ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ.....		
5.1.	ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА.....	94
5.2.	ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫРУБОК.....	96
5.3.	ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЖИГАНИЯ	98
5.4.	РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГОРЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ	99
ГЛАВА 6. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ В ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ, ДЕФОЛИРОВАННЫХ СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ.....		
6.1.	ПОЖАРООПАСНОСТЬ «ШЕЛКОПРЯДНИКОВ».....	104
6.2.	ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА.....	107
6.3.	ЗАПАСЫ ЛГМ В «ШЕЛКОПРЯДНИКЕ».....	110
6.4.	ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ УЧАСТКОВ К ВЫЖИГАНИЮ.....	112
6.5.	ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЖИГАНИЯ.....	113
6.6.	ЗАПАСЫ ЛГМ ПОСЛЕ ВЫЖИГАНИЙ.....	114
ГЛАВА 7. ВЫЖИГАНИЯ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ.....		
7.1.	ВЫЖИГАНИЯ В СОСНЯКАХ В ЗОНЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ.....	122
7.1.1.	ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ.....	124
7.1.2.	ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ.....	127
7.1.3.	ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ В ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛЕСАХ.....	130
7.1.4.	ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ДРЕВОСТОЙ.....	131
7.2.	ВЫЖИГАНИЯ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ.....	138
7.2.1.	ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ЗАБАЙКАЛЬЯ.....	140
7.2.2.	ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	142
7.2.3.	ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДПИСАННЫХ ВЫЖИГАНИЙ.....	143
7.2.4.	ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЖИГАНИЙ.....	145
ГЛАВА 8. ПОСЛЕДСТВИЯ ВЫЖИГАНИЙ.....		
8.1.	ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫЖИГАНИЙ НА ПОЧВУ.....	148
8.2.	ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА.....	161
8.3.	ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ.....	169
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		177
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		179

"Огонь в лесу плохой хозяин, но хороший слуга".

Финская пословица.

ВВЕДЕНИЕ

"Профилактические выжигания", "предписанные выжигания", "контролируемые выжигания", "управляемый огонь", "профилактический пал", "целевой пал" - эти термины определяют методы и способы применения огня в природных растительных сообществах для достижения таких целей, как снижение пожарной опасности в лесу и на вырубках; стимулирование процессов лесовосстановления; уничтожение нежелательной растительности, энтомовредителей и т.п. Выжигания проводятся при определенных параметрах среды, которые позволяют сдерживать горение заданной интенсивности и скорость распространения огня в заранее намеченных границах. В связи с тем, что контролируемые выжигания в России длительное время были запрещены, данных по ним в отечественной литературе встречается мало. Основные исследования в этом плане проведены специалистами США, Канады и Австралии, где предписанные выжигания применяются в широких масштабах еще с начала прошлого столетия.

В связи с запретом использования предписанных выжиганий в лесах России и сформировавшемся представлении о том, что "пожар – стихийное бедствие", противников применения огня в лесу значительно больше, чем сторонников. Между тем известные отечественные лесоводы М.Е.Ткаченко (1931) и И.С.Мелехов (1983) придавали большое значение использованию огня в лесном хозяйстве. Такую позицию занимают и многие практики лесного хозяйства. Изучение положительного и отрицательного влияния пожаров на компоненты лесных биогеоценозов и разработка рекомендаций

по использованию огня в лесном хозяйстве – одна из основных задач пирологии (Арцыбашев, 1984).

Впервые предписанные выжигания и предписанные пожары в России проведены в 1952-1957 гг. в темнохвойных лесах Западной Сибири, усохших после повреждения сибирским шелкопрядом, с целью создания условий для лесовосстановления.

В настоящее время в России разрешено применение огня только для очистки вырубок от порубочных остатков, предварительно сложенных в кучи и валы, а также для создания защитных противопожарных полос сжиганием сухой травы на безлесных участках лесного фонда вне пожароопасного сезона (Правила пожарной безопасности в лесах, 2007).

В 1996-1999 гг. с разрешения Федеральной лесной службы Комитет по лесу Красноярского края совместно с Институтом леса им. В.Н.Сукачева СО РАН проводил опытно-производственные предписанные выжигания сплошным палом на вырубках, а также в лесах, поврежденных энтомовредителями, или находящихся вблизи населенных пунктов, с целью снижения пожарной опасности и стимулирования лесовосстановительных процессов. Эти работы были проведены в ряде лесничеств в рамках Российско-Американского проекта по совершенствованию ведения лесного хозяйства в лесах Сибири. В 1999 году они вышли за рамки экспериментальных и перешли в разряд производственных. В пяти лесничествах Красноярского края были созданы мобильные бригады, которые и проводили предписанные выжигания.

Авторы поставили задачу обобщить накопленный опыт проведения предписанных выжиганий и уверены, что он будет полезен как для научных работников, так и практиков лесного хозяйства.

Глава 1. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДПИСАННЫХ ВЫЖИГАНИЙ В РОССИИ

В России еще в V-VI веках выжигание сухой травы на пастбищах применяли в целях улучшения кормовых свойств и удлинения периода роста травяной растительности. Этот способ использовался в лесостепных и степных ландшафтах Южного Урала, Казахстана, Забайкалья, Якутии, Хакасии и Тувы. Скотоводами было подмечено, что выжигание ветоши ранней весной ускоряет развитие травы и удлиняет период ее вегетации, повышая тем самым кормовую производительность пастбищ. Массовое выжигание сухой травы на пастбищах становилось причиной возникновения лесных пожаров. Бесконтрольное выжигание сухой травы, как причина возникновения лесных пожаров, стало особенно актуальным в XVII в. Тогда в законодательном порядке были определены взыскания за поджог лесов, в том числе, и за так называемые "сельхозпалы". В XVIII в. действовал закон царя Петра I, запрещающий выжигания сухой травы на полянах, расположенных внутри и вблизи лесов. За использование огня на полях, примыкающих к лесу, без соблюдения правил пожарной безопасности, виновных подвергали большому денежному штрафу (Гайковский, 1885; Шилов, 1889).

В начале прошлого столетия запрет на выжигания сельскохозяйственных угодий был ужесточен, действие его охватывало весь бесснежный период (Устав лесной, 1905-1912). Однако, не смотря на все запреты, проблема "сельхозпалов" остается актуальной до сих пор.

В начале XVIII века в Сибири и на Дальнем Востоке лесные пожары стали массовыми. Это было связано с переселением крестьян европейской части России в эти регионы, где они бесплатно получали земельные и лесные наделы. Крестьяне выжигали леса, освобождая землю для строительства поселков и расширения сельскохозяйственных угодий (пастбищ, посевных площадей и т.д.), т.е. применяли так называемое подсечно-огневое хозяйство. Вблизи таежных поселков крестьяне проводили выжигания в сосновых лесах также для повышения урожайности брусничников, а в лиственных лесах и на полях – с целью улучшения условий для пчеловодства. Важно подчеркнуть, что эти выжигания проводились под контролем крестьянских общин, по существу, это было началом применения предписанных выжиганий с целью решения хозяйственных задач.

В России предписанные выжигания всегда вызвали противоречивое к себе отношение от их признания до полного неприятия. Положительное влияние огня на леса было отмечено еще в начале прошлого столетия (Ткаченко, 1911; Тюрин, 1925). Оно выражалось в стимулировании процессов естественного возобновления в сосновых насаждениях. В связи с этим возникла идея использования огня как лесокультурной меры (Ткаченко, 1931). В это же время были проведены первые опыты по искусственному выжиганию с целью улучшения лесовозобновления (Казанский, 1931).

Исследовательские работы по огневой очистке вырубок были начаты в 1931 году на территории Карелии. Основное внимание уделялось технике сжигания, а также рациональной организации труда. В этот период в леспромхозах было очищено 8% от общей площади вырубок. В результате опытных работ было установлено, что приемы очистки лесосек – сбор порубочных остатков в кучи с последующим их сжиганием, сбор остатков в кучи без дальнейшего сжигания и сжигание остатков по ходу лесозаготовок, не отвечали лесохозяйственным требованиям. Позднее использовался метод сплошного пала для сжигания порубочных остатков и сжигания на площадках. При сплошном сжигании рекомендовалась предварительная

прокладка 30-ти метровой противопожарной полосы по периферии вырубki и вокруг куртин семенников. При сжигании порубочных остатков на площадках прокладывались противопожарные полосы по периферии вырубki, а площадки окучивались (Давыдов, 1934).

А.В.Побединский (1955) отмечал, что при благоприятных условиях для сжигания порубочных остатков степень минерализации поверхности вырубki увеличивается до 40%, вместо обычных 5-10%. Минерализованная поверхность благоприятна для естественного и искусственного лесовозобновления. При этом на концентрированных вырубках при отсутствии жизнеспособного подростa рекомендуется проводить огневую очистку летом в безветренный период и при повышенной влажности древесных остатков и подстилки.

С.В.Белов (1973) предлагал использовать контролируемые выжигания в спелых и приспевающих сосняках и лиственничниках за 5-10 лет до рубки с целью предварительного возобновления. Кроме того, он считал целесообразным выжигание мощной лесной подстилки и мохового покрова для уменьшения на 20-30 лет пожарной опасности последующих поколений леса. В районах распространения вечной мерзлоты выжигание увеличивает глубину оттаивания почвы. Отмечается положительное влияние огня средней интенсивности на рост сосняков при повторяемости пожаров через 40-50 лет.

Важное значение использованию контролируемого огня в лесохозяйственной практике придавал И.С.Мелехов (1983). Он рекомендовал проводить профилактические выжигания в сосняках и лиственничниках с целью снижения их пожарной опасности, начиная с 40-50 летнего возраста, когда деревья становятся достаточно огнестойкими.

В Сибири (Красноярский край) исследования по использованию огня для борьбы с энтомовредителями были проведены С.С. Прозоровым (1956). Целью являлось уничтожение куколок сосновой пяденицы в лесной подстилке. Опад и подстилку сжигали как в кучах, так и сплошным распространением огня.

В 1952-57 гг. в Западной Сибири темнохвойные леса были повреждены сибирским шелкопрядом на площади около 4 млн. га. Площадь полностью усохших лесов составляла 1 млн. 400 тыс. га (Фурьев, 1966). На этой территории ежегодно возникали крупные лесные пожары, которые приводили к дезорганизации хозяйственной деятельности. Борьба с ними, несмотря на большие затраты, не давала положительных результатов. В.В.Фурьев (1966) предложил проведение предписанных пожаров в темнохвойных лесах, усохших от повреждения сибирским шелкопрядом, для стимулирования лесовосстановления. По рекомендации Института леса и древесины СО АН СССР, Министерством лесного хозяйства СССР было принято постановление не тушить на данной территории пожары в течение 20 лет, ограничившись контролированием их развития, и предупреждая распространение огня на здоровые древостои. В результате этих мероприятий только через 18 лет удалось содействовать лесовосстановительным процессам через смену пород. На этой территории появились насаждения из мелколиственных пород (березы и осины) с самосевом из пихты, ели, кедра под их пологом.

Запрет предписанных выжиганий на вырубках пагубно отразился на охране лесов России от пожаров и эффективности лесовосстановления. Результаты этого – тысячи гектаров захламленных вырубок, задерненных злаками, где нет древесной растительности, ветровальники, «шелкопрядники» и перегущенные светлохвойные древостои. На этих площадях пожары наиболее разрушительны, а послепожарное лесовосстановление затягивается на многие годы.

До 70% всех пожаров возникают на вырубках с последующим распространением огня на окружающий лес. Это сводит на нет все работы по лесовосстановлению. Из-за большого количества горючих материалов высокая пожарная опасность на вырубках сохраняется в течение 3 - 4 месяцев. Даже обилие зеленой массы трав и кустарников не снижает ее (Валендик и др., 2000).

Как показывает зарубежный опыт, сжигание порубочных остатков дает возможность эффективно облесить вырубки и снизить их пожароопасность. Ликвидация захламленности и обогащение почвы микроэлементами обеспечивают более высокую приживаемость сеянцев и саженцев, устойчивость, повышают их конкурентоспособность. Кроме того, сжигание порубочных остатков снижает распространение на окружающие древостои имеющихся на вырубке насекомых-ксилофагов.

Следует подчеркнуть, что борьба с лесными пожарами - очень дорогостоящее мероприятие, а выжигание растительных остатков - пока единственный эффективный и экономичный метод очистки мест рубок, содействия лесовосстановлению и предупреждения возникновения интенсивных пожаров.

С 1996 года Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН совместно с Комитетом по лесу Красноярского края проводит опытно-производственные работы по предписанным выжиганиям на вырубках и под пологом леса (Valendik et. al., 1997; Валендик, 1998; Валендик и др., 2000; 2001), а также на участках гибели деревьев в результате дефолиации сибирским шелкопрядом (Valendik et.al., 2006; Валендик и др., 2007a).

В России эти работы пока находятся в стадии опытно-производственных и есть необходимость в их тиражировании в разных лесорастительных условиях в целях накопления опыта и создания впоследствии правовой и нормативной баз для их широкого использования.

Глава 2. ПОЖАРНЫЕ РЕЖИМЫ РАЙОНОВ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДПИСАННЫХ ВЫЖИГАНИЙ В ЛЕСАХ СИБИРИ

Бореальные леса несут на себе отпечаток длительных воздействий пожаров, которые сыграли значительную роль в формировании облика современной растительности. В настоящее время в Сибири нет насаждений, которые не имели бы следов одного или нескольких пожаров (Бузыкин, 1975).

Так как территория Сибири занимает огромную площадь, которая располагается в нескольких природных зонах, это обуславливает разнообразие климатических и лесорастительных условий. Этим объясняется ежегодное возникновение лесных пожаров в том или ином районе. Главными факторами, определяющими своеобразие климата Сибири, являются характер общей циркуляции атмосферы и физико-географические условия, а также удаленность от океанов, громадная протяженность территории и сложность орографии. Основная черта климата – резкая континентальность, возрастающая с запада на восток (Шумилова, 1962).

На территории Сибири можно выделить два различных пожарных режима (Валендик, Иванова, 2001). Редкая повторяемость пожаров характеризует пожарный режим заболоченных темнохвойных лесов Западной Сибири. И, наоборот, высокая горимость и частая повторяемость пожаров присуща низкогорным светлохвойным лесам Восточной Сибири.

Экстремальные пожарные ситуации возникают в результате сильных засух. На фоне многочисленных массовых пожаров возникают крупные пожары (Валендик, 1990; Валендик, Иванова, 1996; Иванова, 1996; Фурьев, 1996). И, как следствие этого, появляются огромные территории, пройденные

пожарами. В Сибири в последние десятилетия пожароопасные сезоны, сопровождаемые массовыми лесными пожарами, в отдельных регионах стали частыми, в 2003 году – в Иркутской области и Забайкалье, в 2006 году – в Якутии и в Красноярском крае. При этом ресурсов пожаротушения бывает недостаточно, чтобы справиться с экстремальными ситуациями, в основе которых – климатические причины. Такие ситуации приводят к обширному охвату территорий и потерям природных ресурсов. Они представляют также угрозу жизни и имуществу населения.

Пожарные режимы могут быть охарактеризованы частотой пожаров, их размером, сезонностью, пространственным распространением и интенсивностью (Crutzen, Goldammer, 1993). Частота пожаров, выражаемая через межпожарный интервал – это число пожаров в данном насаждении, или на данной конкретной территории за определенный период времени. Средний межпожарный интервал прямо и косвенно влияет на продолжительность жизненного цикла видов растений, структуру и состав растительности, а также на накопление лесных горючих материалов.

Информацию о пожарных режимах в прошлом можно получить, используя дендрохронологический анализ. Подсушины – след низовых пожаров в нижней части стволов деревьев, являются источником информации о прошлых пожарах. Путем перекрестного датирования серии пожарных подсушин на деревьях можно восстановить хронологию возникновения пожаров в прошлом (Мелехов, 1947; Молчанов, 1976; Madany, Swetnam, West, 1982 и др.). Неоспоримое преимущество использования пожарных подсушин в том, что они позволяют реконструировать хронологию пожаров в прошлые периоды – за 300-500 прошедших лет (Swetnam, 1993), а также в их возможности датировать год, а нередко и сезон возникновения пожара.

Изменение климата сопровождается изменением частоты лесных пожаров (Kasischke et al., 1995; Goldammer, Price, 1998). В зоне бореальных лесов прогнозируется, что пожары могут стать более частыми и обширными. Это увеличит уровень их воздействия на лесные экосистемы (Weber,

Flannigan, 1997). В то же время прогнозировать изменения региональных и локальных пожарных режимов трудно, так как эти изменения могут быть скорректированы вероятными изменениями в источниках огня, например, увеличением грозовой активности, а также способами пожаротушения (Flannigan, Wotton, 1990).

Влияние человека на пожарные режимы очень заметно. Статистика последних лет показывает, что в России более 85% лесных пожаров возникает по вине человека. Несмотря на усилия по пожаротушению, очевидного сокращения площадей, пройденных огнем, в России не отмечено (Korovin, 1996). Многие данные, свидетельствуют о том, что увеличение числа пожаров связано в основном с антропогенными факторами. Между тем эту тенденцию можно объяснить также изменениями погодных условий или стратегий контролирования возникновения огня в лесу. Изменения площадей, затронутых пожарами, связаны со средним межпожарным интервалом (МПИ). Изменения МПИ значительно воздействуют на накопление биомассы в бореальных лесах (Kasischke et. al., 1995). Такая закономерность позволяет предположить большое антропогенное и климатическое воздействие на пожарные режимы. Одновременно это подчеркивает важность организации борьбы с лесными пожарами. Поскольку пожары влияют на структуру, состав и функции экосистем, знание пожарных режимов является определяющим при оценке экологического состояния экосистем и возможности возникновения пожаров.

2.1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При оценке горимости лесов Средней Сибири были использованы данные Центральной авиабазы охраны лесов о сроках действия и площади пожаров. Анализ пространственно-временной динамики пожароопасных сезонов включал в себя как показатели горимости лесов региона, так и условий возникновения экстремальных ситуаций. Для этого была

использована информация о крупных лесных пожарах в период с 1947 по 2003 гг.

При определении периодичности пожаров и среднего межпожарного интервала использовали дендрохронологический анализ. Объектом изучения были древостои лиственницы сибирской и сосны обыкновенной – основных лесообразователей в Средней Сибири. Они имеют четкие годовичные кольца с хорошо выраженной ранней и поздней древесиной, долговечны (лиственница старше 150 лет часто поражена комлевой гнилью).

Определение, по поперечным спилам деревьев, срока давности действия лесных пожаров проводилось по общепринятой методике (Madany, Swetnam, West, 1982), позволяющей установить дату пожара путем перекрестного датирования полученных дендрохронологических данных.

Выявленные на отдельных спилах деревьев годы с пожарами объединялись в обобщенные хронологии пожаров (Madany, Swetnam, West, 1982; Baisan, Swetnam, 1990; Caprio, Swetnam, 1993). Это с высокой достоверностью позволяет установить даты пожаров на исследуемом участке. По хронологиям пожаров определялись следующие характеристики их временной изменчивости: средний межпожарный интервал и его стандартное отклонение, периодичность пожаров для исследуемого района. Средний межпожарный интервал рассчитывался как отношение длительности полученной хронологии к числу зафиксированных за это время пожаров.

2.2. ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Лесные пожары на территории Сибири возникают ежегодно. Для лесов Средней Сибири характерны три типа пожароопасных сезонов: 1) короткий непрерывный – для северной и средней тайги, горимость лесов очень высокая в течение 1-3 месяцев; 2) продолжительный – для южной тайги, пожары могут периодически возникать в течение 4-6 месяцев;

3) повторяющийся для южных горных районов с короткими весенними и осенними максимумами горимости (Валендик, 1990).

Анализ распределения пожаров на охраняемой территории за период с 1986 по 2000 гг. в зависимости от лесорастительной зоны показал, что преобладают пожары (по числу и площади) в южнотаежных лесах (рис. 1), где произрастает основная часть сосновых лесов и находится большинство вырубок, быстро достигающих состояния пожарной зрелости.

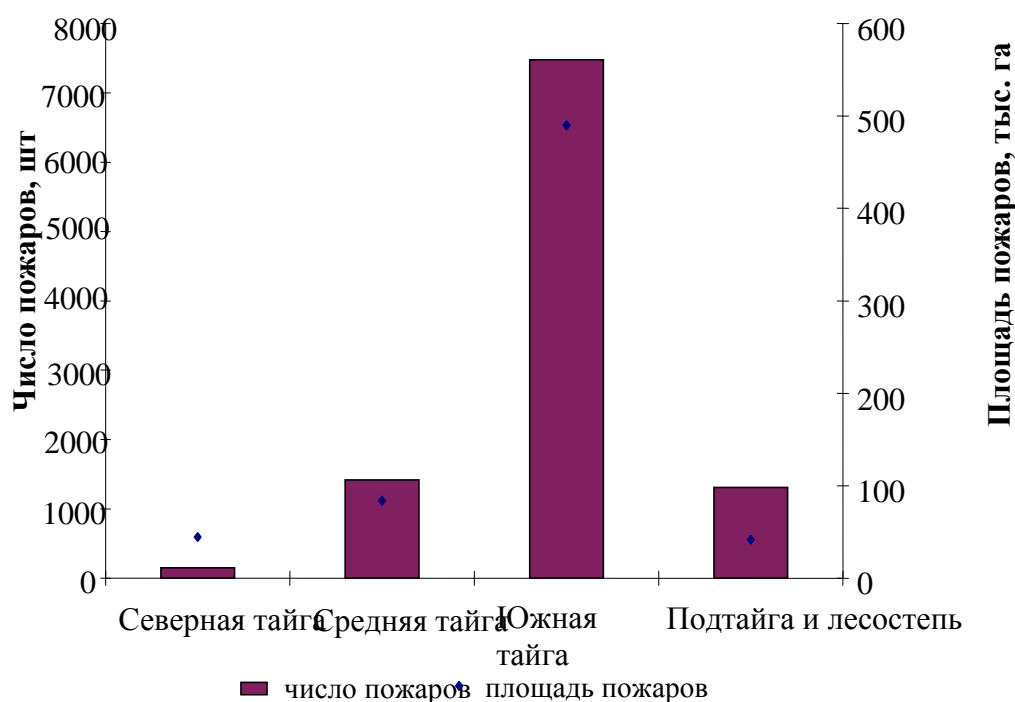


Рис. 1. Распределение числа и площади пожаров по лесорастительным зонам Средней Сибири.

В подзоне северной тайги максимум пожаров приходится на июнь-июль. В подзоне средней тайги пожары преобладают в июле. В южной подзоне тайги, помимо ранневесеннего (май), наблюдается и летний максимум (июль). В подтаежной и лесостепной зонах пожары чаще всего возникают в мае, когда сходит снежный покров и горят травяные типы леса. В то же время в засушливые периоды пожары могут возникать в течение всей вегетации.

Для Сибири характерны периодически возникающие экстремальные пожароопасные сезоны. Признаком их наступления служит появление крупных лесных пожаров, которые возникают только после длительной засухи. При этом особенности растительности отходят на второй план, так как в засуху лесным пожарам могут быть подвержены все категории лесных участков.

Критическим периодом весной являются 10 дней без осадков. Крупные пожары могут возникать на всей лесной территории Сибири. В летний пожароопасный период крупные пожары повсеместно возникают при 30-тидневной засухе. От 66 до 100% всех пожаров приходится на засушливый период продолжительностью 40-50 дней. Осенью крупные пожары бывают редко (Валендик, 1990).

Под периодичностью лесных пожаров понимается закономерное их распределение во времени на определенной территории. Это связано с периодическими изменениями климата, проявляющимися в чередовании сухих и влажных периодов. Кроме того, периодичность лесных пожаров на любой территории обусловлена накоплением лесных горючих материалов до критического запаса и распределением их по площади (Курбатский, 1964).

Установление наличия пожаров в прошедшие годы позволяет выявить природные пожарные режимы, характерные для определенного насаждения или ландшафта. Анализ динамики возникновения пожаров в сосняках Средне-Енисейского региона Средней Сибири в сопоставлении с древесно-кольцевыми хронологиями показал, что чувствительность пожарных режимов к климату после 1880 года изменилась. До этого пожары были тесно связаны с засушливыми годами. После 1880 года в контролировании пожарных режимов возросла роль антропогенных факторов. Это связано со строительством транссибирской магистрали и последующим активным заселением территорий (Swetnam, 1996). В последние десятилетия под воздействием антропогенной нагрузки отмечается сокращение

межпожарного интервала в южнотаежных сосняках Средней Сибири (Ваганов и др., 1996).

Реконструкция хронологии пожаров проведена нами для сосновых лесов подзоны южной тайги и лесостепи, т.е. тех районов, где проводились контролируемые выжигания. Исследования включали в себя взятие спилов с деревьев с пожарными подсушинами на лесных участках в Нижнем Приангарье, Красноярской лесостепи и в горах Восточного Саяна. Их координаты зафиксированы (табл. 1). Были прослежены пожары до 400 и более лет.

2.3. РЕКОНСТРУКЦИЯ ДАТ ПОЖАРОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Возрастное строение лесов Приангарья в значительной степени сложилось под воздействием лесных пожаров (Бузыкин, 1975). Одновозрастные светлохвойные насаждения, как правило, формируются здесь после катастрофических (верховых) пожаров. В то же время разновозрастность древостоев обусловлена влиянием низовых пожаров.

Периодичность лесных пожаров в подзоне южной тайги, в сосняках Нижнего Приангарья, рассматривается на примере преобладающих здесь насаждений зеленомошной и разнотравной групп типов леса. С этой целью реконструирована периодичность пожаров за последние 420 лет на правобережье Ангары в сосняке бруснично-зеленомошном (табл. 1, участок 1) и (рис. 2).

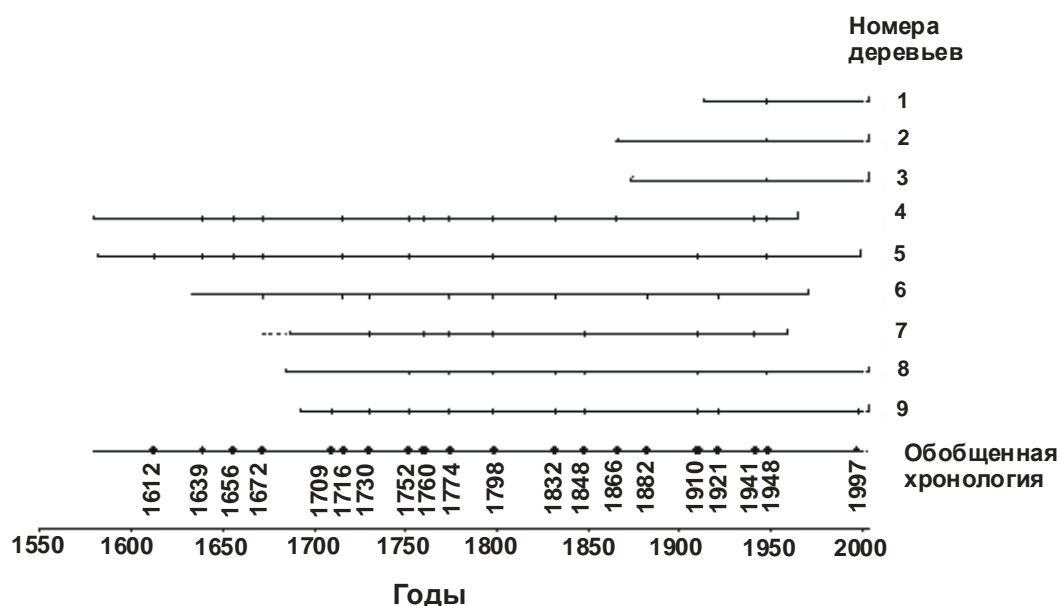


Рис. 2. Хронология лесных пожаров в сосняке бруснично-зеленомошном в Нижнем Приангарье (участок 1).

На некоторых деревьях остались следы от 10 до 12 пожаров. Всего на участке реконструированы даты 20 пожаров. Средний межпожарный интервал составляет 21,1 год. За период 1672-1951 гг. на 30% деревьев оставили следы 7 пожаров, при среднем пожарном интервале 39,4 лет. На 50% деревьев зафиксированы следы (за тот же период) 5 пожаров (интервал – 55 лет). Почти на всех деревьях в рассматриваемый период встречаются следы пожаров 1774, 1798, 1832 и 1948 годов, то есть в среднем каждые 58 лет возникают высокоинтенсивные пожары. Можно заключить, что в рассматриваемый период на исследованной территории средний интервал между пожарами ландшафтного масштаба составлял 39 лет.

Таблица 1

Характеристика хронологий лесных пожаров в сосняках Средней Сибири

№ участ ка	Местоположение экспериментальных объектов	Тип леса	Период, годы	Годы с пожарами	Средний межпо- жарный интервал, лет
Подзона южной тайги					
1	Нижнее Приангарье, бассейн р. Ангары, 58°42' с.ш., 98°25' в.д.	Сосняк бруснично-зеленомошный	1580-2003	1612, 1639, 1656, 1672, 1709, 1716, 1730, 1752, 1760, 1774, 1798, 1832, 1848, 1866, 1882, 1910, 1921, 1941, 1948, 1997	21,1
2	Нижнее Приангарье, бассейн р. Иркинское, 58°41' с.ш., 98°18' в.д.	Сосняк кустарничково-зеленомошный	1602-1999	1617, 1678, 1744, 1760, 1771, 1779, 1798, 1812, 1823, 1840, 1848, 1860, 1864, 1878, 1885, 1888, 1905, 1915, 1927, 1951, 1959, 1987	18,0
2а	Нижнее Приангарье, бассейн р. Иркинское, 58°41' с.ш., 98°18' в.д.	Сосняк кустарничково-зеленомошный	1691-1999	1744, 1798, 1812, 1823, 1848, 1860, 1878, 1888, 1905, 1915, 1951	28,0
3	Нижнее Приангарье, пойма р. Бакчет, 57°05' с.ш., 94°56' в.д.	Сосняк осочково-разнотравный	1808-1994	1819, 1883, 1899, 1908, 1925, 1946, 1954, 1978, 1990	20,7
4	Нижнее Приангарье, пойма р. Бакчет, 57°01' с.ш., 95°05' в.д.	Сосняк разнотравно-брусничный	1713-1994	1750, 1788, 1798, 1818, 1838, 1842, 1854, 1864, 1875, 1882, 1893, 1901, 1909, 1916, 1925, 1967, 1974, 1981	15,6
5	Нижнее Приангарье, пойма р. Бакчет, 57°02' с.ш., 95°10' в.д.	Сосняк разнотравно-злаковый	1725-1994	1752, 1800, 1828, 1848, 1861, 1873, 1892, 1899, 1910, 1915, 1929, 1935, 1945, 1957, 1969, 1987	16,8
6	Нижнее Приангарье, пойма р. Бакчет, 57°04' с.ш., 95°00' в.д.	Сосняк разнотравно-брусничный	1624-1994	1635, 1645, 1651, 1662, 1692, 1700, 1716, 1725, 1729, 1745, 1778, 1797, 1802, 1809, 1818, 1840, 1847, 1859, 1867, 1874, 1884, 1893, 1901, 1909, 1915, 1918, 1926, 1938, 1951, 1959	12,3

Лесостепная зона					
7	Красноярская лесостепь, терраса р. Енисей, Юксеевский бор, 56°54' с.ш., 93°25' в.д.	Сосняк разнотравно-осочковый	1845-1997	1880, 1896, 1899, 1903, 1911, 1916, 1921, 1926, 1929, 1935, 1944, 1946, 1953, 1961, 1983	10,1
8	Канская лесостепь, район оз. Маслеево, 57°00' с.ш., 95°13' в.д.	Сосняк бруснично-разнотравный	1715-1994	1738, 1751, 1784, 1791, 1800, 1804, 1813, 1828, 1837, 1847, 1863, 1873, 1880, 1900, 1904, 1908, 1915, 1928, 1936, 1948, 1954, 1970, 1980	12,1
9	Красноярская лесостепь, Погорельский бор, 56°13' с.ш., 93°00' в.д.	Сосняк бруснично-зеленомошный	1880-1998	1891, 1898, 1909, 1911, 1917, 1925, 1929, 1932, 1934, 1939, 1943, 1946, 1958, 1978	8,4
Горные леса					
10	Предгорья Восточного Саяна, долина р. Таловка, 55°30' с.ш., 93°20' в.д.	Сосняк спирейно-осочковый	1748-1998	1782, 1800, 1819, 1834, 1851, 1871, 1884, 1902, 1921, 1931, 1954	22,7
11	Предгорья Восточного Саяна, долина р. Жержул, 55°25' с.ш., 93°20' в.д.	Сосняк разнотравный	1782-1998	1808, 1819, 1826, 1838, 1846, 1853, 1867, 1871, 1883, 1902, 1911, 1919, 1933, 1947, 1982	14,4

На правобережье Ангары в сосняке кустарничково-зеленомошном за период 1537 – 1998 гг. было выявлено 23 пожара (участки 2 и 2а). Средний межпожарный интервал здесь составил 20,0 лет. За период 1760-1951 гг. на 30% деревьев остались следы 6 пожаров, при среднем пожарном интервале 31,8 лет. Пожары, следы которых зафиксированы на 50% деревьев, возникали за тот же период 4 раза (в среднем через 48 лет). В последние 300 лет на данной территории средний интервал между пожарами ландшафтного масштаба составил около 32 лет. В то же время, до 1750 года (начало заселения бассейна Ангары) средний межпожарный интервал составлял 71 год. После освоения территории он снизился в 3-4 раза. В последние десятилетия наблюдается увеличение межпожарного интервала, несмотря на накопление большого количества горючих материалов. Это объясняется своевременным обнаружением и тушением лесных пожаров.

На левобережье Ангары, на южной границе с лесостепной зоной, в сосняках разнотравных на четырех участках (участки 3 – 6) число пожаров и длительность периодов реконструкции значительно варьируют. Максимальное число пожаров, выявленных на участках – 30. Величина среднего межпожарного интервала варьировала от 12,3 до 20,7 лет. Эти сосняки испытывают большую антропогенную нагрузку и поэтому пожары здесь возникают значительно чаще.

Средний межпожарный интервал в пределах подзоны южной тайги уменьшается с севера на юг. Если на правобережье Ангары, возле с. Богучаны, он составляет 18,0-28,0 лет, то возле с. Тасеево уменьшается до 12,3 – 20,7 лет. Короткие межпожарные интервалы определяются здесь слабой расчлененностью лесной территории и большой антропогенной нагрузкой, которая способствует увеличению источников огня. Сокращение в последние десятилетия межпожарных интервалов под воздействием антропогенной нагрузки в Приангарье отмечено Е.А. Вагановым с соавторами (1996).

2.4. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПОЖАРОВ В ЛЕСОСТЕПНЫХ СОСНЯКАХ

Периодичность лесных пожаров исследовалась в Юксеевском бору, который по природным условиям относится к северной части Красноярской лесостепи. Бор представлен сосняками бруснично-разнотравного, разнотравно-осочкового и разнотравно-зеленомошного типов леса.

Спилы с пожарными подсушинами были взяты в двух частях бора (участок 7). За период с 1845 по 1997 гг. на отдельных деревьях было зафиксировано до 11 подсушин. Самая старая подсушина датируется 1880 годом. В отдельные годы пожарные повреждения были зафиксированы у всех исследованных деревьев. Иногда же пожарные подсушины были отмечены только на одном из деревьев. Это можно объяснить тем, что пожар, в зависимости от распределения запасов горючих материалов и погодных условий, имел различную интенсивность и, соответственно, наносил повреждения разной степени. Кроме того, известно, что пожар может распространяться на той или иной части лесного массива, или охватывать его целиком в зависимости от мозаичности и влажности живого напочвенного покрова. Средний межпожарный интервал здесь составил 10,1 лет. Пожары, оставившие отметки на деревьях, были зафиксированы здесь до 1983 года. Хотя пожары здесь случались и после 1983 года, они носили беглый характер или, благодаря действиям лесной охраны, имели незначительные площади распространения. Так, последний пожар в сосняке был отмечен в 1995 году, но площадь его была небольшая и следов на деревьях, в виде пожарных подсушин, он не оставил.

По пожарным подсушинам в сосняке бруснично-разнотравном, примыкающего к озеру Маслеево (Канская лесостепь), за период с 1705 по 1994 гг. зафиксировано 23 пожара (участок 8). Средний межпожарный интервал составил 12,1 лет. Озеро Маслеево, к которому примыкает сосняк, с

давних времен является местом отдыха, а, следовательно, и зоной повышенных источников огня.

В Погорельском бору, также относящемуся к Красноярской лесостепи, и расположенному в 50 км южнее Юксеевского бора, в сосняке бруснично-зеленомошном за период с 1880 по 1998 гг. было зафиксировано по пожарным подсушинам 14 пожаров. Средний межпожарный интервал составил 8,4 года (участок 9).

Средний межпожарный интервал в лесостепных припоселковых борах варьирует от 8 до 12 лет. Пожары возникают преимущественно в весенний и раннелетний периоды и лишь 5% от их общего числа – летом или осенью. Повышенная частота пожаров в припоселковых борах объясняется не только засушливыми периодами, но и значительной антропогенной нагрузкой.

2.5. РЕКОНСТРУКЦИЯ ХРОНОЛОГИИ ПОЖАРОВ В ГОРНЫХ СОСНЯКАХ

Хронология пожаров построена для двух участков горных сосняков Восточного Саяна, произрастающих в бассейне реки Мана, на склонах южной экспозиции. Это сосняк спирейно-осочковый, произрастающий на юго-восточном склоне, крутизной более 20° (участок 10) и сосняк разнотравный, расположенный на южном склоне крутизной более 30° (участок 11). Для склонов характерны выходы скальных пород. Влагообеспеченность участков обеспечивается большим количеством осадков.

Сосняк разнотравный произрастает в более ксерофитных условиях. За период с 1748 по 1998 год по пожарным подсушинам зарегистрировано 11 пожаров в 1782, 1800, 1819, 1834, 1851, 1871, 1884, 1902, 1921, 1931, 1954 гг. Средний межпожарный интервал составил 22,7 года. Он типичен для таких условий.

В более влажном сосняке спирейно-осочковом по пожарным подсушинам за период с 1782 по 1998 гг. выявлены годы с пожарами: 1808, 1819, 1826, 1838, 1846, 1853, 1857, 1871, 1883, 1902, 1911, 1919, 1933, 1947, 1982 гг. Средний межпожарный интервал составил 14,4 года. Межпожарный интервал здесь в последние два столетия сократился в 2 раза из-за доступности участка и его близости к населенному пункту.

В подобных условиях пожары возникают в основном весной (в конце мая - начале июня). Это подтверждается и пожарными подсушинами. Особенностью сосняков, произрастающих на южных склонах гор, является быстрое достижение ими состояния пожарной зрелости, как в засуху, так и в течение всего пожароопасного сезона. Хорошо выраженный рельеф и значительный запас напочвенных горючих материалов способствует развитию здесь высокоинтенсивных лесных пожаров. В то же время пожары во многих случаях носят пятнистый характер. Их следы зафиксированы часто только на отдельных деревьях. Это связано, по-видимому, с выходами скальных пород, являющимися преградами для распространения огня.

Пожары повлияли на возрастную структуру древостоя. Так, в сосняке разнотравном представлены несколько возрастных групп деревьев, что является следствием пожаров разных лет. Основу древостоя составляют деревья в возрасте 180 лет, появившиеся после пожара 1819 года. Группа самых старых деревьев, отмирающих в настоящее время, имеет возраст 215 лет. Наличие старых деревьев можно объяснить особенностями пожаров в этих условиях. По склону распространяется обычно высокоинтенсивный низовой пожар. Переход его в верховой пожар, при котором обгорают кроны деревьев, происходит лишь при вертикальной сомкнутости полога и наличии подроста. Выходы каменистых пород нередко препятствуют возникновению верхового пожара.

Межпожарный интервал определяется условиями произрастания. Для горных сосняков Восточного Саяна в среднем он составляет от 15 до 24 лет. Он характерен и для сосняков подзоны южной тайги. За этот период

происходит накопление горючих материалов до их критического запаса. В темнохвойных лесах межпожарный интервал достигает 90-120 лет. Можно предположить, что такие параметры пожаров были характерны в течение последних 5-6 столетий.

Средний межпожарный интервал в сосновых лесах Средней Сибири широко варьирует и определяется географической широтой, расчлененностью рельефа, условиями произрастания, антропогенной нагрузкой. Средние межпожарные интервалы уменьшаются при продвижении с севера на юг.

Величина среднего межпожарного интервала определяется продолжительностью пожароопасного сезона. Так, в подзоне средней тайги на северном пределе распространения сосняков, где продолжительность пожароопасного сезона составляет 65 дней, средний межпожарный интервал составляет – 47,2 года. В более южных районах продолжительность пожароопасного сезона увеличивается до 100 дней, средние межпожарные интервалы уменьшаются до 35 лет. При этом на неизолированных участках, куда пожары могут проникать с прилегающих территорий, межпожарный интервал более короток, чем на изолированных участках. Средний межпожарный интервал на изолированных участках достигает 97 лет, а на неизолированных участках варьирует от 20 до 40 лет (Иванова и др., 2007).

У северной границы подзоны южной тайги продолжительность пожароопасного сезона увеличивается до 110 дней, а средний межпожарный интервал в сосняках кустарничковых и зеленомошных типов леса изменяется от 18,0 до 28,0 лет. Южнее пожароопасный сезон возрастает до 120 дней и увеличивается антропогенная нагрузка, величина интервала уменьшается и составляет 12,3 – 20,7 лет.

Средний межпожарный интервал зависит также и от типа леса. Наиболее часты пожары в сосняках лишайниковых на песчаных и супесчаных почвах. Средний межпожарный интервал здесь короче в 2 раза и

более по сравнению с сосняками бруснично-разнотравными и зеленомошными.

В лесах Средней Сибири пожары наблюдаются ежегодно. Для пожарного режима этого региона характерны частые низкоинтенсивные низовые пожары, а высокоинтенсивные пожары возникают здесь только в экстремальные пожароопасные сезоны. По дендрохронологическим данным различных исследователей и нашим данным можно утверждать, что выявленная пространственная динамика пожаров характерна для последних пяти столетий. Это относится как к межпожарным интервалам, так и сезонам возникновения пожаров.

Глава 3. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ВЫРУБКАХ В РАВНИННЫХ И НИЗКОГОРНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ

3.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА

Предписанные выжигания и оценку их последствий проводили в равнинных и низкогорных темнохвойных лесах подзоны южной тайги Средней Сибири. Для характеристики района работ использовались работы М.И.Волобуева (1960), Н.Н.Галахова (1964), А.А.Ерохиной и М.В.Кириллова (1964), А.Б.Жукова с соавторами (1969), Е.И.Лапшиной с соавторами (1971), В.Н.Смагина с соавторами (1977), Р.М.Бабинцевой и Ю.С.Чередниковой (1983), В.Н.Горбачева и Э.П.Поповой (1992), монография "Средняя Сибирь" (1964), Атлас Красноярского края (1994).

Район работ охватывает южную (Ангаро-Канская часть) и приангарское понижение Енисейского кряжа. Енисейский кряж - низкогорный массив, расположенный на западной окраине Средне-Сибирского плоскогорья, простирающийся сравнительно неширокой полосой вдоль реки Енисей севернее Транссибирской железнодорожной магистрали. По характеру рельефа и тектоническим особенностям кряж делится на три части: северную (Заангарскую), приангарское понижение и южную (Ангаро-Канскую).

Ангаро-Канская часть Енисейского кряжа представляет древнее складчатое сооружение, расчлененное в результате новейших глыбовых поднятий (Волобуев, 1960). Осевая часть кряжа – наиболее приподнятая поверхность с абсолютными высотами 550-660 м. Рельеф-плосковершинный, густо- и глубоко расчлененный, с останцами денудации в виде скал и скалистых гребней.

Восточный склон кряжа имеет сглаженный грядовой, густорасчлененный рельеф, его очертания мелкие, плосковыпуклые. Западная покатость кряжа также неоднородна по рельефу.

Приангарское понижение (Казачинская впадина) ограничивает южную часть Енисейского кряжа с севера. Оно имеет слабо расчлененный рельеф. Водораздельные пространства - ровные, изредка расчлененные балками. В рельефе отчетливо выражены террасы рек Ангара и Енисей.

Климат южной части Енисейского кряжа - континентальный, но несколько мягче, чем на остальной части Средней Сибири на этой же широте. Интенсивное выпадение осадков отмечается во вторую половину лета (июле-августе). На кряже выпадает 450-600 мм годовых осадков, в Канской котловине – 300-400 мм (Галахов, 1964; Атлас Красноярского края, 1994).

Общие климатические условия южной части Енисейского кряжа (устойчивая, достаточно высокая влажность воздуха в летнее время и длительная сохранность снежного покрова большой мощности зимой) обуславливают отсутствие сухого периода (Лапшина и др., 1971).

Ангаро-Канская часть Енисейского кряжа отражает особенности почвенно-растительного покрова в подзоне южной тайги.

В южной части Енисейского кряжа господствуют почвы подзолистого ряда (Лапшина и др., 1971), с длительным промерзанием без многолетнемерзлого слоя (Ерохина, Кириллов, 1964). В зависимости от положения в рельефе почвы имеют различное строение профиля, слаборазвитого в верхних частях склонов, и с четким делением на генетические горизонты по плоским вершинам и в нижних частях склонов.

Помимо дерново-подзолистых почв, на Енисейском кряже (Казачинская впадина) под темнохвойной тайгой на супесях и лессовидных суглинках встречаются серые лесные почвы, обладающие неплохим потенциальным плодородием.

3.2. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Разнообразие геоморфологии, литологии и климатических условий сказывается на формировании растительного покрова. Енисейский кряж,

который возвышается над Западно-Сибирской равниной, принимает на себя значительную часть атмосферных осадков, переносимых с атлантическими массами воздуха. Он является своеобразным природным рубежом, который задерживает атмосферные осадки. Приенисейская полоса Средне-Сибирского плоскогорья испытывает заметное влияние тепляющих водных масс Енисея и Ангары, что благоприятствует тепловому режиму воздуха и почв (Горбачев, Попова, 1992).

На западном макросклоне сформировалась темнохвойная полидоминантная тайга, которая по структуре древесного яруса и флористическому составу напочвенного покрова очень близка к западносибирской, хотя он и более разнообразен. Основной отличительной особенностью растительного покрова является ограниченное распространение элементов болотной растительности. Восточный (подветренный) склон характеризуется большей континентальностью климата. По составу растительности он имеет много общего со светлохвойной тайгой Среднего Приангарья.

В темнохвойной тайге западного макросклона Енисейского кряжа преобладает пихта, имеющая здесь оптимальные условия для своего роста. Для этих лесов характерна полидоминантность и разновозрастность древостоев, высокая полнота и сомкнутость древесного яруса с преобладанием пихты при постоянном участии кедра и ели. Кроме этих основных лесообразующих пород, в составе древостоев встречаются сосна, лиственница, береза, осина, участие последних сильно варьирует (от единичных деревьев до 2-3 единиц состава).

На восточном склоне, обращенном к Канской котловине, в соответствии с уменьшением влажности и усилением континентальности, господство переходит к сосновым лесам. Темнохвойные леса занимают лишь долины и нижние части склонов теневых экспозиций.

Современный растительный покров кряжа сложен. Фитоценозы кряжа находятся в различном динамическом состоянии. Массивы коренных елово-

пихтовых и кедрово-пихтовых лесов сохранились на главном водоразделе, местами - в осевой части кряжа и на приангарском понижении. Значительную часть территории занимают производные древостои, представляющие различные стадии лесовосстановительной динамики коренных темнохвойных лесов. В настоящее время в лесах Енисейского кряжа ведутся интенсивные рубки леса, при которых применяется агрегатная лесозаготовительная техника. Это усиливает негативное воздействие лесоразработок на процессы лесовосстановления. На вырубках отмечены разные стадии лесовосстановления.

Предписанные выжигания были проведены в южной части Енисейского кряжа. Здесь выделяются два высотно-поясных комплекса: подтаежный и горно-таежный. К настоящему времени подтаежные леса полностью вырублены и представлены разными стадиями лесовосстановительной сукцессии.

Темнохвойные горно-таежные леса образованы чаще всего смешанными елово-пихтовыми и пихтово-еловыми насаждениями с примесью кедра. Их фитоценоотическое разнообразие определяется господством травяных типов леса (Бабинцева, Чередникова, 1983).

Наиболее распространены мелкотравно-зеленомошные и вейниковые типы пихтовых и еловых лесов, приуроченные к плакорным местообитаниям. Древостои характеризуются высокой производительностью и неравномерной густотой. Сомкнутость древесного полога может значительно колебаться от 0,5 до 1,0. Древостои в большинстве случаев разновозрастные, 2-хъярусные. В примеси – ель (до 40%), кедр (10-20%), осина (до 1-2 единиц в составе). Возобновление – удовлетворительное (12-18 тыс. шт./га, преобладает подрост пихты). Обычна также примесь кедра и ели, подрост этих пород – более крупный, произрастает в окнах древесного полога.

Незначительно представлены пихтарники крупнотравные и травяно-болотные, кедровники крупнотравные, ельники вейниковые и зеленомошные, сосняки сфагновые и лишайниковые.

Горимость лесов региона низкая, однако охрана лесов от пожаров осложняется вырубками. Площади их ежегодно растут и территория с повышенной пожарной опасностью увеличивается. Возрастают и затраты на охрану. В первую очередь это относится к горным темнохвойным лесам на склонах южной экспозиции, где на вырубках происходит развитие травянистой растительности. Пожары здесь возможны сразу после схода снежного покрова. На вырубках, где не проведены противопожарные работы, под угрозой находится сохранность подроста.

Из-за большого количества горючих материалов (до 70 т/га) высокая пожарная опасность здесь сохраняется в течение 3-4-х месяцев. Ее не снижает даже обилие зеленой массы из трав и кустарников. Возникающие на вырубках пожары беспрепятственно распространяются на окружающие древостои. Поэтому разработка мероприятий по снижению пожарной опасности на вырубках в этих лесах актуальна.

3.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫРУБОК

Возраст древостоев, где проведены рубки – 160-180 лет. Они представлены разновозрастными, высокополнотными пихтарниками с вертикально сомкнутым пологом и относятся к мелкотравно-зеленомошным, мелкотравно-осочково-зеленомошным и разнотравно-осочковым типам леса (табл. 2). Запас древесины составлял 230 - 250 м³/га. Лесозаготовка проводилась в осенне-зимний (снежный) период. Способ рубки – сплошной.

Таблица 2

Характеристика древостоя

№ участка/год выжигания	Рельеф	Тип леса	Состав древостоя ^{*)}	Отн. полнота
1/1997	Нижняя часть южного склона до 3°	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	3П2Е2Л 1К2Ос+Б	0,8
2/1997	Распадок в долине ручья	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	3П3Л2С2Е	0,8
3/1997	Верхняя часть южного склона до 5°	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	3П3Л2Е 1С1Ос	1,0
4/1997	Верхняя часть южного склона	Пихтач мелкотравно-осочково-зеленомошный	5П3Е1Л1Б	0,7
5/1997	Верхняя часть северо-западного склона до 3°	Пихтач мелкотравно-осочково-зеленомошный	5П1Е1С 1Л2Ос	0,9
6/1997	Нижняя часть южного склона до 3°	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	7П1Е1Л1Ос	0,9
7/1997	Нижняя часть северного склона до 3°	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	6П2Е1К1Л	0,9
8/1997	Плакор	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	5П2К2Е1Л	1,0
9/1997	Плакор	Пихтач мелкотравно-зеленомошный	6П2Е2Л	1,0
2/1999	Плакор	Пихтач зеленомошно-разнотравный	6П1К1Е1Б1Ос	0,8
3/1999	Плакор	Пихтач зеленомошно-осочковый	5П3Е1К1Б едЛ	0,7
4/1999	Верхняя часть южного склона до 2°	Пихтач разнотравно-осочковый	4П2Е2С2Б+Ос	0,7
5/1999	Плакор	Пихтач разнотравно-осочковый	5П2Е2С1Ос +К+Л	0,6
6/1999	Верхняя часть южного склона до 3°	Пихтач разнотравно-осочковый	5П2Е2С1Ос +К+Л	0,6

^{*)} **Состав древостоя** – распределение запаса древесных пород, составляющих древостой. Состав представляется в виде формулы. Например, 7С3Б означает, что 70% запаса древостоя приходится на сосну и 30% - представлены березой.

Состояние подроста хвойных пород до и после рубки древостоя, перед выжиганием различно (табл. 3). Количество подроста до рубки составляло от 3 до 10 тыс. шт./га; сохранность после рубки – от 5 до 40 %. С удалением древостоя связаны микроклиматические изменения. При этом отмечено массовое усыхание хвойного подроста (рис. 3). Уже в первый год после рубки жизнеспособный подрост составил от 5 до 25 % от сохранившегося после рубки. Такое количество подроста не может обеспечить лесовосстановление на вырубке хвойными породами. В последующие годы наблюдается дальнейшая гибель подроста и усиление конкуренции со стороны травяно-кустарничкового яруса.

Таблица 3

Характеристика подроста до и после вырубки древостоя

№ участ- ка/ год выжи- гания	До рубки				После рубки			
	Состав	Кол-во, тыс.шт. /га	Воз- раст, лет	Высо- та, м	Кол-во, тыс.шт. /га	Доля, %		
						Нежиз- неспособный	Сом- нитель- ный	Жизне- способ- ный
1/1997	10П	3	40	3	1	10	75	15
2/1997	9П1Е	3	30	2,5	1,3	15	60	25
3/1997	10П	3	40	3	0,9	20	70	10
4/1997	8П2Е	5	35	3	2,5	70	20	10
5/1997	8П1К 1Е	3	40	3	0,8	70	25	5
6/1997	9П1Е	10	35	2,5	1,3	35	60	5
2/1999	8П2Е	4	20	1	2,5	80	10	10
3/1999	6П2Е1Л1Б	8	30	2	6	10	10	80
4/1999	10П	4	25	2,2	0,2	50	20	30
5/1999	10П	3	20	1,5	2	80	10	10
6/1999	10П	3	30	3	2	80	10	10



Рис. 3. Усыхание хвойного подроста после рубки.

3.4. ПОЖАРООПАСНОСТЬ НА ВЫРУБКАХ

Природная пожарная опасность на вырубках в первую очередь связана со структурой и запасами лесных горючих материалов. Известно, что подверженность горению напочвенного покрова определяется его запасом и долей проводников горения (мхи, лишайники, мелкий опад, подстилка) с низким влагосодержанием (8 – 10 %), а также количеством вегетирующих трав, кустарничков с высоким влагосодержанием (120 – 400 %) (Курбатский, Иванова, 1987).

Накопление и распределение горючих материалов на вырубках определяется технологией лесозаготовок. В настоящее время существует три основные технологии рубок:

- 1) с обрубкой сучьев на пасеке и трелевкой хлыстов;
- 2) с трелевкой деревьев, обрубкой сучьев на разделочных площадках с последующей вывозкой хлыстов или сортиментов;
- 3) с трелевкой и вывозкой деревьев.

При технологии с обрубкой сучьев на пасеке порубочные остатки относительно равномерно размещаются на вырубке. Общий запас лесных горючих материалов на вырубке выше естественного запаса в темнохвойных лесах. При обрубке сучьев на разделочных площадках здесь накапливается большое количество порубочных остатков. При технологии с вывозкой деревьев комплекс напочвенных горючих материалов в ходе лесозаготовок не изменяется. По своим характеристикам он схож с таковым в темнохвойных лесах.

В настоящее время на территории Енисейского кряжа, как правило, применяется технология разработки лесосек с обрубкой сучьев на разделочных площадках, и лишь в некоторых случаях – с обрубкой сучьев на пасеках.

Разработка лесосек проводится комплексом лесоповалочных машин (ЛП–19 или ЛП–18). Тяжелая агрегатная техника, применяемая при

лесозаготовках, вызывает уплотнение и минерализацию почвы, повреждает подрост, увеличивает захламленность (Цветков, Иванов, 1985), которая увеличивает пожароопасность.

На отдельных вырубках захламленность превышает 200 м³/га. Значительную часть составляют мелкие горючие материалы (до 2,5 см в диаметре). Запас опада и мхов колеблется от 1,0 до 20,9 т/га (табл. 4). Большой запас ЛГМ создает предпосылки для возникновения высокоинтенсивных пожаров в течение всего пожароопасного сезона. При этом даже обилие зеленой растительности не препятствует возникновению и распространению пожаров на вырубках.

Таблица 4

Запас лесных горючих материалов на вырубках, т/га

№ участка/год выжигания	Травы и кустарнички	Опад, мхи	Подстилка, ветви с диаметром < 0,7 см	Валез, порубочные остатки			Итого
				Диаметр, см			
				0,7–2,5	2,5–7,5	>7,5	
1/1997	0,6	8,6	10,4	53,1	74,9	15,4	163,0
2/1997	0,7	3,2	3,7	67,5	63,6	0,0	138,7
3/1997	0,2	5,3	4,8	57,1	53,1	47,6	168,1
4/1997	2,5	1,3	13,1	24,0	29,9	0,0	70,8
5/1997	2,5	5,7	8,9	25,1	26,3	0,0	68,5
6/1997	1,7	1,0	14,1	44,4	36,9	68,4	166,5
7/1997	1,8	2,2	14,4	20,1	60,0	49,4	147,9
8/1997	0,4	11,3	16,6	50,7	51,4	61,6	192,0
9/1997	0,6	6,8	20,7	50,7	36,3	35,7	150,8
2/1999	0,3	13,9	9,5	16,4	16,2	54,1	110,4
4/1999	1,0	15,9	11,5	7,8	37,2	145,7	219,1
5/1999	0,1	20,9	13,5	7,4	3,9	32,7	78,5
6/1999	0,2	10,7	9,2	13,5	21,6	40,1	95,3

В ходе экспериментальных работ вырубки были разбиты на элементы: трелевочные волока, пасеки и разделочные площадки (табл. 5).

Преобладающая часть горючих материалов сосредоточена на разделочных площадках, где в процессе лесозаготовки производится обрубка сучьев. На пасаках комплекс напочвенных горючих материалов по структуре и запасу близок к естественному в темнохвойных лесах. Волока, по которым проводится трелевка деревьев, частично минерализованы. Запас горючих материалов на них небольшой.

Таблица 5

Распределение запасов горючих материалов по элементам вырубki, т/га

Элемент вырубki	Вид горючих материалов					Итого	Доля от площади, %
	Опад, мхи	Подстилка, ветви с диаметром < 0,7 см	Валеж, порубочные остатки				
			0,7-2,5 см	2,5-7,5 см	>7,5 см		
Разделочная площадка	14,4	8,7	25,5	24,8	67,4	140,8	8
Пасека	13,4	10,8	10,1	17,5	61,0	112,7	88
Волок	1,4	3,9	1,8	0	0	7,1	4

Запас опада на пасеке равен 13,4 т/га, а на разделочной площадке – 14,4 т/га. Общий запас свежей вырубki составил на разделочной площадке – 140,8 т/га, на пасеке – 112,7 т/га. Запас подстилки более равномерно распределен по площади и составляет в среднем 10–12 т/га. Общий запас лесных горючих материалов на сплошных вырубках значителен. Он варьирует от 70 до 200 т/га.

Наряду с запасом лесных горючих материалов варьирует и плотность их слоя, что в дальнейшем, естественно, сказывается на процессе горения. Средняя толщина слоя лесных горючих материалов на пасаках равна 0,17 м, на разделочных площадках – 0,35 м. Плотность опада, подстилки и порубочных остатков колеблется от 25 до 112 кг/м³, в среднем она равна 60 кг/м³. На разделочных площадках слой ЛГМ наиболее рыхлый, в среднем

равен 40 кг/м³. На пасаках он более плотный за счет крупных остатков (66 кг/м³).

Запас напочвенных горючих материалов на вырубках в темнохвойных лесах заметно изменился спустя 5 лет после рубки (табл. 6). Средний запас проводников горения находится в пределах 10 т/га. Следовательно, даже при обилии зеленой массы трав, природная пожарная опасность остается на высоком уровне.

Таблица 6

Запасы напочвенных горючих материалов на сплошных вырубках

Давность вырубки, лет	Запас напочвенных горючих материалов, т/га			
	Травы и кустарнички	Проводники горения		Итого
		Подстилка	Опад, мхи	
2	3,7	10,3	9,1	23,1
3	3,2	10,4	10,8	24,4
5	12,3	11,0	10,7	34,0

Помимо структуры и запасов лесных горючих материалов, пожарная опасность в лесу обуславливается условиями погоды. В России оценка пожарной опасности по условиям погоды базируется на комплексном метеорологическом показателе В.Г. Нестерова (1949).

$$NI_j = NI_{j-1} \xi_{j,j-1} + t_j (t_j - \tau_j) \quad (1)$$

где: NI_j – значение комплексного метеорологического показателя j -того дня сезона; NI_{j-1} – значение комплексного метеорологического показателя предшествующего ($j-1$) дня; $\xi_{j,j-1}$ – коэффициент учета суточных осадков (учитывается сумма осадков за предыдущие 24 часа, при сумме осадков менее 3 мм $\xi_{j,j-1} = 1$, при сумме осадков 3 мм и более $\xi_{j,j-1} = 0$); t_j – температура воздуха j -того дня; τ_j – температура точки росы j -того дня.

Измерения температуры воздуха и температуры точки росы проводятся в 13 часов местного времени. Выпадение осадков более 3 мм означает, что

дождь ликвидировал пожарную опасность и расчет показателя начинается заново.

Для практического применения комплексного показателя введены классы пожарной опасности (КПО), которые показывают связь комплексного показателя с горимостью лесных горючих материалов. Так, I класс пожарной опасности соответствует комплексному показателю до 300 единиц, горимость маловероятна; II класс – 301-1000 ед. – малая пожарная опасность; III класс – 1001-4000 ед. – средняя пожарная опасность; IV класс – 4001 – 10000 ед. – высокая пожарная опасность; V класс – более 10000 ед. – чрезвычайная пожарная опасность (Указания, 1993).

По данным лесопожарной статистики, в таежной зоне повышенная пожарная опасность возникает ежегодно. В такие сезоны массовое возникновение лесных пожаров превращается в стихийное бедствие, против которого нет радикальных средств борьбы (Курбатский, 1975).

Известно, что в разных типах леса и на вырубках, отличающихся рядом характеристик, лесные горючие материалы отличаются составом и структурой, высыханием в засушливую погоду с разной скоростью. Они достигают пожарной зрелости в разные сроки. На открытых пространствах поглощающей поверхностью служит напочвенный покров (живой и мертвый). В лесу эту роль выполняет, в основном, полог древостоя. Известно, что поверхность, поглощающая солнечную радиацию, имеет температуру выше, чем окружающее воздушное пространство или затененные предметы. Чем больше разность температур, тем благоприятнее условия для испарения влаги. На вырубках напочвенные горючие материалы зачастую являются основной поглощающей поверхностью. Условия высыхания здесь наиболее благоприятны (Софронов, 1970). Так, сплошные вырубки горят при комплексном показателе (КП) 250–300 ед., в то время как сами темнохвойные леса горят только при КП более 2000 ед. (Мелехов, 1983).

В районе исследований пожароопасный сезон, как правило, начинается в середине апреля и заканчивается в конце сентября. Продолжительность его находится в пределах 140–160 дней. Темнохвойные леса находятся в состоянии пожарной зрелости всего 15–25 % дней пожароопасного сезона, в то время как горимость сплошных вырубок длится более 75 % продолжительности пожароопасного сезона.

Особенностью комплекса горючих материалов на неочищенных вырубках является наличие больших запасов порубочных остатков. Рыхлая структура слоя проводников горения способствует распространению высокоинтенсивного горения по площади. Из-за неравномерного размещения горючих материалов на площади отдельные части вырубок достигают готовности к горению раньше других. Горение скоплений порубочных остатков вызывает возникновение пятнистых загораний перед фронтом пожара.

Из-за больших запасов лесных горючих материалов и специфических условий их высыхания состояние сплошных вырубок можно оценивать как высоко пожароопасное. Сплошные вырубки находятся в состоянии пожарной "зрелости" на протяжении большей части пожароопасного сезона.

3.5. ТЕХНОЛОГИИ ВЫЖИГАНИЙ

Для снижения запасов лесных горючих материалов, улучшения условий для лесовосстановления при разных погодных условиях и состоянии ЛГМ проводятся выжигания с определенными параметрами горения: скоростью сгорания, скоростью выжигания и т. д. Этого можно добиться, используя различные технологии выжиганий. Они включают в себя методы выжигания и способы зажигания или пуска огня.

Выбор того или иного метода выжигания зависит от характеристики вырубки (площадь, наличие участков, не подлежащих выжиганию, запас, структура и размещение лесных горючих материалов).

Методы сплошного пала:

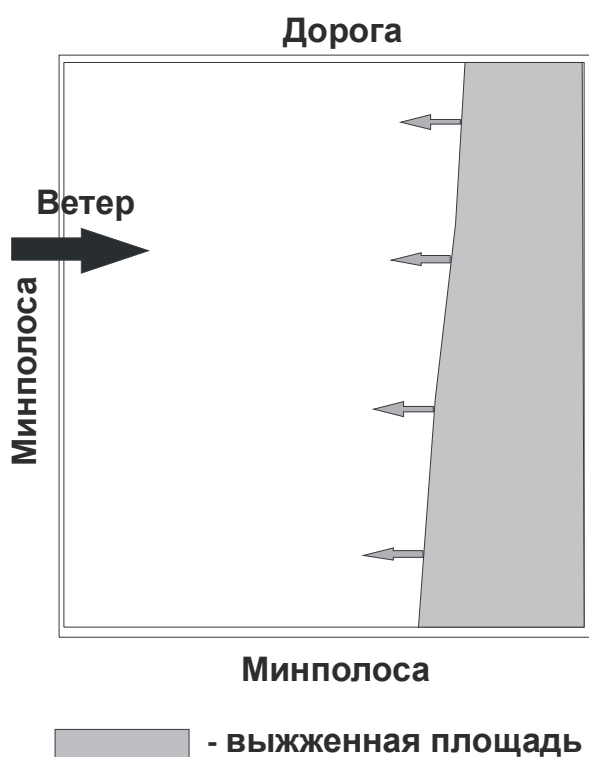


Рис. 4. Схема постепенного выжигания

Метод постепенного выжигания

(рис. 4). Зажигание проводится одновременно вдоль минполосы с подветренной стороны участка, и кромка огня движется против ветра.

При этом вся площадь выжигается за один прием. Метод целесообразно использовать там, где площадь вырубki не превышает 10–20 га и отсутствуют подрост, семенные куртины, недорубы и другие объекты, не подлежащие воздействию огня, а вырубka надежно изолирована от окружающих участков минерализованными полосами.

Этот метод позволяет в короткий срок выжечь порубочные остатки с высокой степенью утилизации.

Метод локального выжигания (рис. 5). При этом зажигание осуществляют последовательно в разных частях вырубki. По мере выгорания горючих материалов и снижения интенсивности горения на одном участке – зажигают следующий и т. д. Метод позволяет контролировать поведение огня малыми силами.



Рис. 5. Схема локального выжигания

Метод эффективен при расположении на вырубке куртин подроста и деревьев, которые необходимо сохранить; при необходимости обеспечить пожарную безопасность в сложных метеоусловиях и не допустить распространения высокоинтенсивного горения. В этом случае прокладывают дополнительные минерализованные полосы и под их защитой проводят выжигание на отдельных участках, изолированных друг от друга.

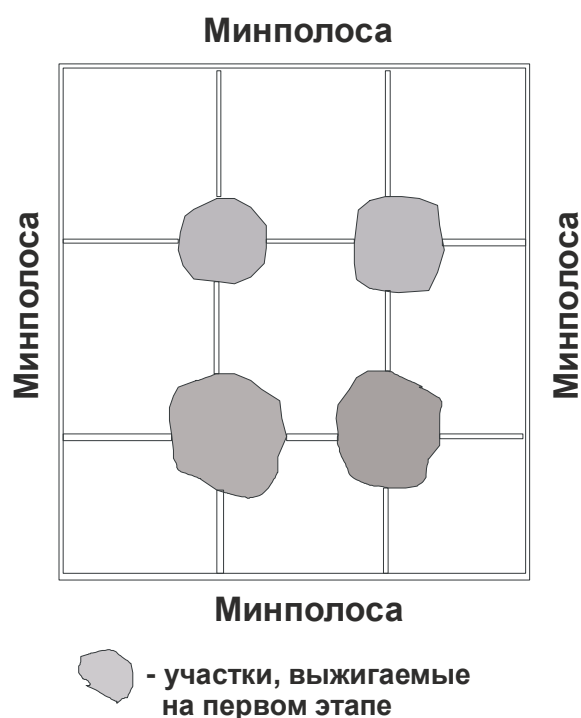


Рис. 6. Схема поэтапного выжигания

Метод поэтапного выжигания (рис. 6). Выжигание проводят в два этапа. На первом этапе выжигают участки с большим запасом порубочных остатков (разделочные площадки, волокна и др.). Это можно делать при I - II классах пожарной опасности или в период полного развития трав и кустарничков. Второй этап проводят при III классе пожарной опасности, когда мелкие и средние по крупности горючие материалы успеют хорошо высохнуть. Для достижения безопасности целесообразно

выжженные ранее участки соединить с помощью плуга или других орудий минерализованными полосами.

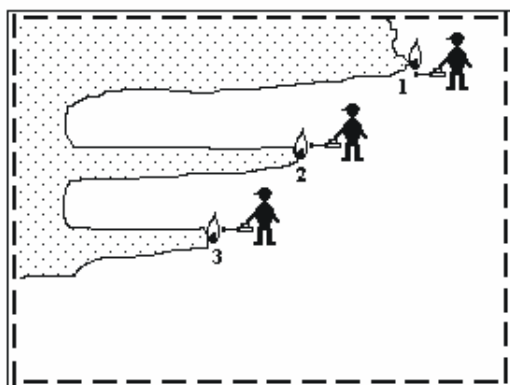
Первый этап работ можно проводить в августе-сентябре, а второй этап следует перенести на май – начало июня следующего года.

Это самый безопасный метод выжигания. Он не требует высокой квалификации исполнителей.

Способы зажигания горючих материалов зависят от многих факторов: целей выжигания, погоды, рельефа, запасов порубочных остатков и характера их размещения, пожароопасности, прилегающих к вырубке участков, надежности заградительных полос и естественных барьеров, наличия сил и средств. Способы зажигания определяют общую «интенсивность выжигания».

Существует три основных способа зажигания, имеющих ряд разновидностей.

Линейный способ (рис. 7). Зажигание проводится непрерывной линией огня с одной стороны участка вдоль минерализованной полосы. При этом образуется равномерная кромка огня (рис. 7, линия 1). Этот способ оптимален при небольшой захламленности участка, равномерном размещении порубочных остатков и скорости ветра менее 1,5–2,0 м/с.



Обозначения:



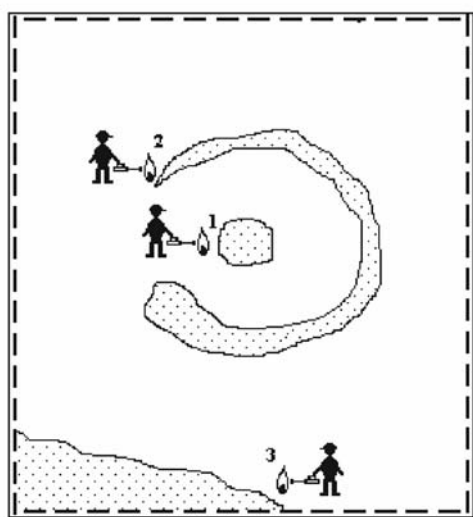
- — — - минерализованная полоса
-  - сгоревшая площадь
-  - последовательность зажигания

Рис. 7. Линейное зажигание

Для ускорения процесса выжигания и регулирования интенсивности

горения (например, для более полного выжигания порубочных остатков при II–III классах пожарной опасности) проводят следующее зажигание параллельно первой линии огня (рис. 7, линия 2). При этом от расстояния между линиями огня зависит интенсивность кромки огня. После выгорания полосы между линиями огня 1 и 2 зажигают следующую линию огня, отступив на нужное расстояние от кромки огня (рис. 7, линия 3). Это так называемое ступенчатое линейное зажигание. Завершающее зажигание проводят вдоль минполосы с противоположной стороны участка.

Кольцевой способ (рис. 8). Сначала зажигаются порубочные остатки в центре участка (положение 1 на рис. 8). После образования



Обозначения:

— — — - минполоса



- сгоревшая площадь



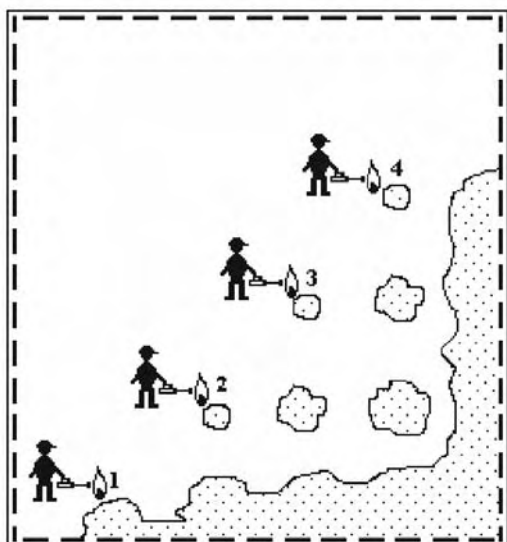
- последовательность зажигания

рис. 8). После образования интенсивного очага горения, отступают на расстояние 20–30 м от кромки огня и зажигают горючие материалы, двигаясь по окружности относительно основного очага горения (положение 2 на рис. 8). При необходимости проводят следующее зажигание. Завершающее зажигание проводят вдоль опорных минерализованных полос по периметру участка (положение 3 на рис. 8).

Рис. 8. Кольцевое зажигание

Способ оптимален при скорости ветра до 1,0 м/с, а также при необходимости повышения интенсивности горения и скорости выжигания.

Точечный способ (рис. 9). Способ отличается от линейного тем, что зажигание проводится в отдельных точках. В первую очередь, зажигаются скопления порубочных остатков (на разделочных площадках, волоках,



Обозначения:



- — — - минполоса
-  - сгоревшая площадь
-  - последовательность зажигания

Рис. 9. Точечное зажигание

местах складирования крупномерных отходов и т. д.). Затем создаются многочисленные очаги на участках с меньшей захламленностью. При этом способе можно повысить скорость выжигания и полноту сгорания ЛГМ. Метод наиболее эффективен при выжигании в период полного развития травяно-кустарничкового яруса.

В качестве примера приведено описание предписанного выжигания на вырубке на месте пихтарника разнотравно-осочкового (выжигание № 6/1999) (рис. 10). Вырубка имела уклон 2°, площадь – 5 га. Она была

окружена минерализованной полосой шириной 3 м. Рубка проведена в пихтарнике разнотравно-осочковом с составом 5П2Е2С1Ос+К+Л и полнотой 0,6. Подрост из пихты в возрасте 20 лет, высота – 1,5 м, 3000 шт./га. После рубки сохранилось 2000 шт./га, из них: здоровых – 10%, сомнительных – 10%, усохших – 80%. Сплошная рубка проведена зимой при помощи лесозаготовительной машины ЛП – 49. Запас горючих материалов – 125 м³/га. Они были распределены по элементам лесосеки на волоках – 3%, на разделочных площадках – 20%, на пасаках – 77%. Зажигание проведено 2 сентября 1999 г. в 19:00 при следующих погодных условиях: температура воздуха +15°C, относительная влажность воздуха – 55%, ветер – штиль, комплексный показатель – 1808 ед., класс пожарной опасности – IV. Метод выжигания – сплошной пал. Способ зажигания – линейный.



а)



в)

Рис. 10. Вырубка № 6/1999 в пихтарнике разнотравно- осочковом а) до и в) после выжигания.

Тактика выжигания (рис. 11): первая линия зажигания располагалась на восточной стороне вырубki. Для ускорения процесса выжигания была проложена вторая линия зажигания, параллельная первой. Затем, по мере слияния первых кромок огня, была зажжена третья линия. Заключительные линии зажигания были проведены вдоль северной, западной и южной сторон вырубki.



Рис. 11. Схема выжигания ЛГМ на вырубке в пихтарнике разнотравно-осочковом (участок № 6/1999).

Сдерживание огня осуществлялось рабочими с помощью ранцевых опрыскивателей. Наблюдался переброс горящих частиц, с подветренной стороны вырубki. Вырубка, площадью 5 га, полностью была пройдена огнем за 3 часа. Полнота сгорания порубочных остатков с диаметром до 7 см

составила 100%, более крупных порубочных остатков и валежа – 73%. Окарауливание осуществлялось в течение четырех дней.

Описания выжиганий ЛГМ на других вырубках приведены в книге (Валендик и др., 2000).

3.6. ОСОБЕННОСТИ ВЫЖИГАНИЙ

Горение ЛГМ на вырубках имеет свои особенности. Они обусловлены большими запасами проводников горения, мозаичностью их размещения, а также множеством очагов загорания. При выжиганиях ЛГМ процесс горения можно разбить на четыре фазы: 1) воспламенение ЛГМ; 2) распространение огня; 3) горение без распространения пламени и 4) потухание пламени.

В зависимости от способа зажигания на вырубках возможны два режима выжигания: поступательный, характеризующийся движущейся кромкой огня; и площадной, когда горение происходит одновременно на большой площади, где трудно выделить кромку огня.

Поступательный режим выжигания применим при относительно небольших запасах валежа и порубочных остатков (на пасаках и трелевочных волоках), когда ширина кромки огня значительно меньше расстояния между точками зажигания. Для его описания применимы показатели, обычно используемые для характеристики лесных пожаров: скорость распространения кромки огня (м/с), ширина кромки огня (м), массовая скорость сгорания ($\text{кг/м}^2 \text{ с}$), интенсивность горения на кромке огня (Вт/м).

Горение на участках с большими запасами валежа и порубочных остатков (чаще, на разделочных площадках, иногда и на пасаках) проходит в площадном режиме. Его характеризуют специфические показатели: длительность пламенного горения (с), массовая скорость сгорания ($\text{кг/м}^2 \text{ с}$); можно использовать также длину пламени (м). С учетом теплоты сгорания горючего материала (кДж/кг) можно вычислить интенсивность тепловыделения (Вт/м^2). Теплота сгорания лесных горючих материалов

зависит от их вида. В связи с этим интенсивность тепловыделения рассчитывается в качестве примера, исходя из того, что теплота сгорания лесных горючих материалов в среднем равна 18000 кДж/кг.

Для описания всего процесса выжигания на вырубках использовалась массовая скорость выжигания, m (кг/м² с), показывающая среднюю скорость выгорания при разных способах зажигания и скорости распространения кромки огня (Валендик и др., 2007).

$$m_b = \Delta m / t_b,$$

где ΔM – масса сгоревшего вещества (ЛГМ) (кг/м²), t_b – среднее время выжигания одного га вырубки (с).

При этом время выжигания (t_b) можно разложить на составляющие:

$$t_b = t_z + t_p + t_c,$$

где t_z – время зажигания; t_p – время распространения кромки огня от точки зажигания до данной точки; t_c – время сгорания ЛГМ или длительность пламенного горения в данной точке.

При поступательном режиме выжигания временем зажигания можно пренебречь, поскольку вследствие больших запасов проводников горения оно намного меньше остальных составляющих.

Время распространения кромки огня рассчитывается по формуле:

$$t_p = L / 2U,$$

где L – среднее расстояние между точками зажигания (м), U – скорость распространения кромки огня (м/с), которая, в свою очередь, зависит от таких факторов, как скорость ветра, рельеф, толщина слоя горючих материалов и др. При выжиганиях скорость распространения огня измерялась непосредственно.

Длительность пламенного горения при поступательном режиме рассчитывается по формуле:

$$t_c = B / U,$$

где B – ширина кромки горения (м); U – скорость распространения кромки огня (м/с).

Скорость сгорания (массовая) определялась как количество сгорающего вещества за время пламенного горения как

$$m_c = \Delta m / t_c,$$

где ΔM – масса сгоревшего вещества (ЛГМ) (кг/м²), t_c – длительность пламенного горения, с.

При анализе площадного режима выжигания можно пренебречь временем распространения горения, хотя при этом увеличивается время зажигания. Оно определяется скоростью движения "зажигателя" по участку. Длительность пламенного горения измерялась непосредственно в ходе эксперимента. Интенсивность кромки горения при площадном выжигании определялась условно по методу Байрама (Byram, 1959).

Исследования развития и распространения горения проводились на 22 участках (блоках) площадью от 5 до 30 га, однородных по структуре и запасу лесных горючих материалов.

Предписанные выжигания ЛГМ на вырубках проводились при температуре воздуха от 9 до 27°C, относительной влажности воздуха 34-80% и скорости ветра до 3 м/с (табл. 7).

Таблица 7

Метеорологические характеристики предписанных выжиганий на вырубках

№ участка/ год выжигания	Число и месяц	Начало выжигания, час	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Направление ветра	Скорость ветра, м/сек	Класс пожарной опасности
1/1997	23.06	20:00	27	38	Ю	2	III
2/1997	24.06	14:00	20	34	ЮЗ	3	IV
3/1997	25.06	12:00	23	58	0	0	IV
4/1997	26.06	11:00	22	60	0	0	IV
5/1997	26.06	14:00	22	73	СВ	3	IV
6/1997	26.06	19:00	22	80	СВ	2	IV
7/1997	19.08	16:00	22	48	З	2	I
8/1997	20.08	16:00	22	48	З	2	II
2/1999	27.06	19:00	20	49	ЮЗ	3	IV
3/1999	30.08	15:00	19	40	Ю	2	III
4/1999	01.09	18:00	15	55	0	0	III
5/1999	02.09	21:00	9	50	0	0	IV
6/1999	02.09	19:00	15	55	0	0	IV

В зависимости от запаса, размещения лесных горючих материалов и погодных условий использовались два режима выжигания: поступательный и площадной.

Этим двум режимам выжигания свойственны различные характеристики (табл. 8). Длительность пламенного горения при поступательном режиме выжигания в среднем равна 207 секундам и в 7 раз меньше, чем при площадном выжигании. Общее время выжигания ЛГМ на площади 1 га – в два раза больше (в среднем – около 3 ч). Это объясняется меньшей скоростью распространения кромки горения по сравнению со скоростью движения рабочего, производящего зажигание. Время выжигания 1 га при площадном режиме в среднем равно 1,5 ч. Такие различия в длительности горения и времени выжигания необходимо учитывать при выборе способа зажигания.

Таблица 8

Зависимость полноты сгорания ЛГМ от характеристик горения и режимов выжигания

Характеристики горения			Режим выжигания	
			поступательный	площадной
Интенсивность кромки огня, кВт/м			578,9	-
Ширина кромки, м			0,94	-
Запас сгоревших ЛГМ, т/га			66,6	87,4
Общая полнота сгорания ЛГМ, %			57,9	64,4
Полнота сгорания, %	Опад, мхи		87,3	97,8
	Подстилка		56,4	82,3
	Валеж, порубочные остатки	0,7-2,5 см	72,8	85,5
		2,5-7,5 см	53,3	72,0
		>7,5 см	39,4	52,2
Интенсивность тепловыделения, кВт/м ²			648,7	134,8
t _з , с			0	3950,00
t _р , с			10317,98	0
t _с , с			207,35	1425,00
t _в , с			10525,33	5375,00

Интенсивность горения на кромке при поступательном режиме равна 580 кВт/м, что меньше, чем при площадном режиме. Проведение выжиганий в поступательном режиме позволяет контролировать процесс горения

малыми силами, но полнота сгорания горючих материалов при этом ниже, чем при площадном режиме.

Повышение интенсивности горения увеличивает вероятность перехода огня за пределы выжигаемого участка. Увеличение интенсивности горения часто сопровождается такими явлениями, как огненный вихрь, высокая конвекционная колонка, мощное тепловое излучение, способное нагреть ЛГМ, находящиеся на расстоянии 3-4 м (за минерализованной полосой), до температуры воспламенения.

При поступательном и площадном режимах выжигания в среднем на участках сгорело ЛГМ 67 и 87 т/га соответственно. Такое различие в первую очередь связано с начальными запасами ЛГМ. Общая полнота сгорания ЛГМ в среднем равна 58% при поступательном режиме и 64% – при площадном.

Основной задачей контролируемых выжиганий является снижение природной пожарной опасности, поэтому полнота сгорания лесных горючих материалов является самым важным критерием оценки качества выжиганий на вырубках.

Для снижения пожарной опасности в первую очередь необходимо удалить проводники горения.

Различные группы проводников горения имеют разные значения полноты сгорания (табл. 9). По мере увеличения крупности проводников горения полнота их сгорания уменьшается.

Таблица 9

Полнота сгорания горючих материалов при поступательном режиме
выжигания

№ участка/год выжигания	Скорость сгорания, г/с м ²	Полнота сгорания, %					Класс пожарной опасности
		опад	подстилка	Валеж, порубочные остатки, см			
				0,7-2,5	2,5-7,5,	>7,5	
1/1997	4,0	98	89	79	31	20	III
2/1997	30,8	97	46	56	85	46	IV
3/1997	45,5	94	60	81	60	35	IV
4/1997	22,6	98	41	55	72	31	IV
5/1997	20,0	94	53	58	38	48	IV
6/1997	53,1	88	78	73	40	13	IV

7/1997	44,2	95	69	49	22	20	I
8/1997	58,1	88	68	52	73	2	II
2/1999	28,8	84	47	84	53	50	IV
4/1999	34,8	71	54	56	35	37	III
5/1999	46,0	78	63	98	100	100	IV
6/1999	32,0	97	57	95	50	21	IV

Отчетливо проявилась зависимость полноты сгорания подстилки от скорости сгорания (коэффициент корреляции – 0,77) (рис. 12). При поступательном режиме выжигания, чем больше скорость сгорания ЛГМ, тем выше полнота сгорания подстилки. Кроме параметров горения, выявлена обратная зависимость полноты сгорания подстилки от ее влагосодержания (рис. 13). При влагосодержании подстилки более 100% полнота ее сгорания – менее 60%.

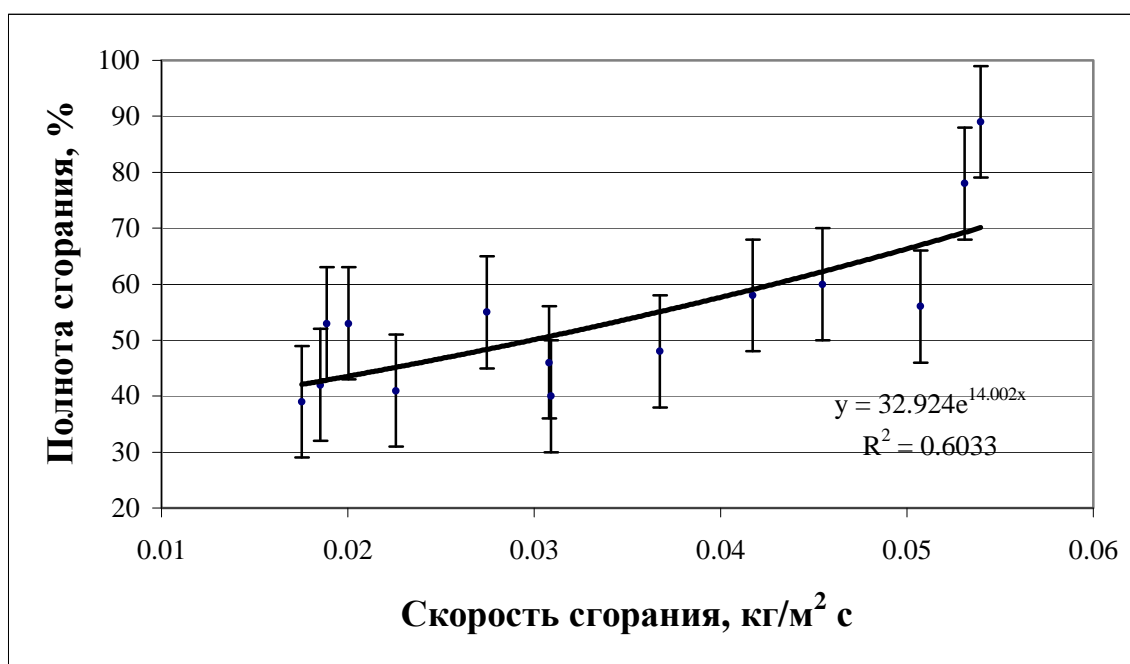


Рис. 12. Зависимость полноты сгорания подстилки от скорости сгорания.

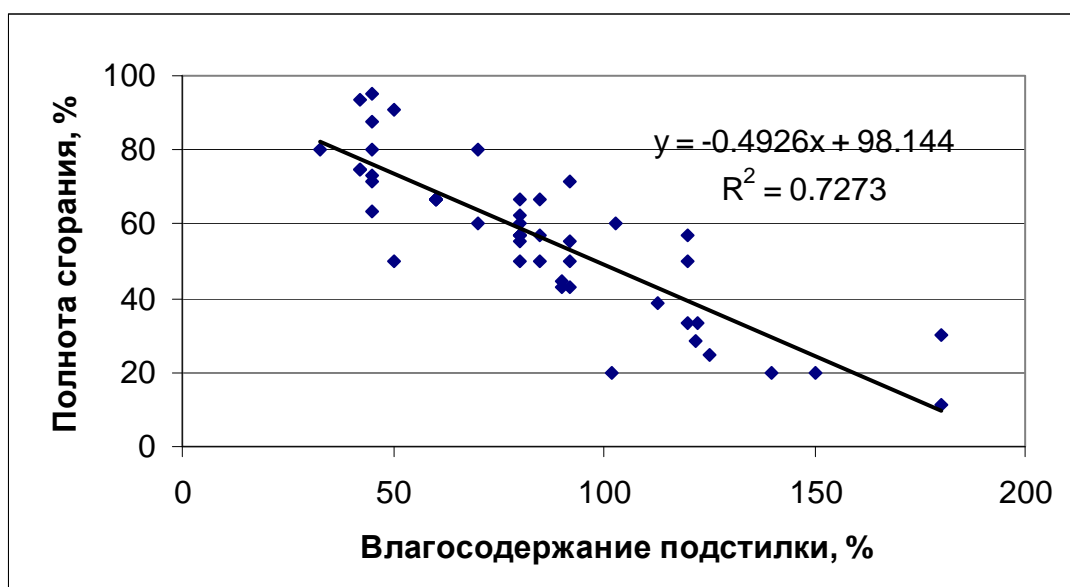


Рис. 13. Зависимость полноты сгорания лесной подстилки от ее влагосодержания.

При выжиганиях особенности сгорания имеют валеж и порубочные остатки (диаметр более 7,5 см). Их доля в лесных горючих материалах составляет около 70%, хотя они занимают менее 10% площади вырубки. Проводники горения с диаметром до 7,5 см, как правило, сгорают в фазе пламенного горения, в то время как крупные горючие материалы (с диаметром >7,5 см) сгорают преимущественно в период тления. Полнота их сгорания зависит от степени разложения и скученности. После окончания пламенного горения на вырубке остается «сетка» из несгоревших ветвей и стволов, тлеющих в местах соприкосновений.

Механический недожог в экспериментах определялся после окончания беспламенного горения. "Сетка" из тлеющих горючих материалов обуславливает прогорание подстилки и прогрев почвы, так как такое горение может продолжаться несколько суток. Хотя интенсивность беспламенного горения очень мала, при этом происходит полное сгорание подстилки, а температура верхнего слоя почвы может достигать летальных значений для почвенных микроорганизмов. При высоких температурах происходит также изменение химического состава почвы. С другой стороны, участки

истлевшей подстилки являются благоприятной средой для прорастания семян и последующего роста сеянцев. Это подтверждают материалы как наших исследований, так и других авторов (Бузыкин, 1964; Иванов, 1965; Санникова, 1977; Матвеев и др., 1987).

Площадной режим выжигания характерен для разделочных площадок, где сосредоточено большое количество порубочных остатков.

При таком режиме пламенная фаза горения продолжается от 15 до 30 минут. При этом лимитирующим фактором скорости сгорания является степень обеспеченности горения кислородом, зависящая от скорости ветра, площади участка, размеров ЛГМ и т. д. Длина пламени в среднем равна 2,1 м, с языками пламени – до 4 м. При таких параметрах горения (в отличие от поступательного режима выжигания) отмечается полное сгорание ЛГМ.

Полнота сгорания связана с классами пожарной опасности. Так, при площадном режиме выжигания и II и IV классах пожарной опасности полнота сгорания ЛГМ различается в 1,5 раза (табл. 10). Полнота сгорания при площадном режиме выжигания и IV классе пожарной опасности равна в среднем 70%, при II – 47%.

Скорость сгорания при IV классе пожарной опасности почти в два раза выше, чем при II, хотя длительность пламенного горения не изменяется. Это объясняется увеличением интенсивности горения.

При выжигании запас лесных горючих материалов снижается почти в два раза. При этом, естественно, снижается запас и проводников горения (опад, мхи). На вырубках, пройденных сплошным палом, послепожарные запасы различных групп проводников горения неодинаковы (табл. 11, рис. 14). Запас опада не превышает 450 г/м². Соотношение запасов различных групп проводников горения после выжиганий при поступательном и площадном режимах выжигания важно при оценке влияния выжиганий на условия лесовосстановления. Большой запас опада и подстилки, свойственный сплошным рубкам, влияет на микросреду. В то же время, после выжигания горючие материалы с диаметром более 7,5 см имеют меньшее проективное

Таблица 10

Полнота сгорания ЛГМ при различных параметрах горения

КПО	Длительность пламенного горения, с	Скорость сгорания, г/м ² с	Полнота сгорания, %					
			Всего ЛГМ	Отдельные виды ЛГМ				
				Опад, мхи	Подстилка	Валез, порубочные остатки		
						Диаметр, см		
						0,7-2,5	2,5-7,5	>7,5
II	1500	4,75	47,2	92,3	75,0	58,0	65,0	48,0
IV	1400	8,40	70,1	99,7	84,7	94,7	74,3	53,6

Таблица 11

Запасы проводников горения после выжигания, т/га

№ участка/год выжигания	Группа проводников горения					
	Опад, мхи	подстилка	Валез, порубочные остатки			Всего
			0,7-2,5 см	2,5-7,5 см	>7,5 см	
1/1997	0,27	1,14	11,15	51,68	12,32	76,6
2/1997	0,52	2,00	29,70	9,54	0,00	41,7
3/1997	0,83	1,94	10,85	21,24	30,94	65,8
4/1997	0,03	7,75	10,80	8,37	0,00	26,9
5/1997	0,33	4,20	10,54	16,31	0,00	31,4
6/1997	0,59	3,11	11,99	22,14	59,51	97,3
7/1997	0,22	4,45	10,25	46,80	39,52	101,2
8/1997	1,32	5,30	24,34	13,88	60,37	105,2
9/1997	0,53	5,17	21,29	12,71	18,56	58,3
2/1999	1,7	4,2	2,09	4,9	27,1	40,0
4/1999	4,1	5,26	3,3	23,52	92,64	128,8
5/1999	4,06	4,99	0,15	0,00	0,00	9,2
6/1999	0,15	2,84	0,28	11,76	21,73	36,75

покрытие (не более 5% от площади вырубki) и не препятствуют росту молодых деревьев.

После контролируемых выжиганий распространение горения по площади невозможно вследствие малого запаса проводников горения (опада и подстилки). Для распространения горения необходим запас ЛГМ в абсолютно сухом состоянии более $0,3 \text{ кг/м}^2$ (Валендик, Исаков, 1978).

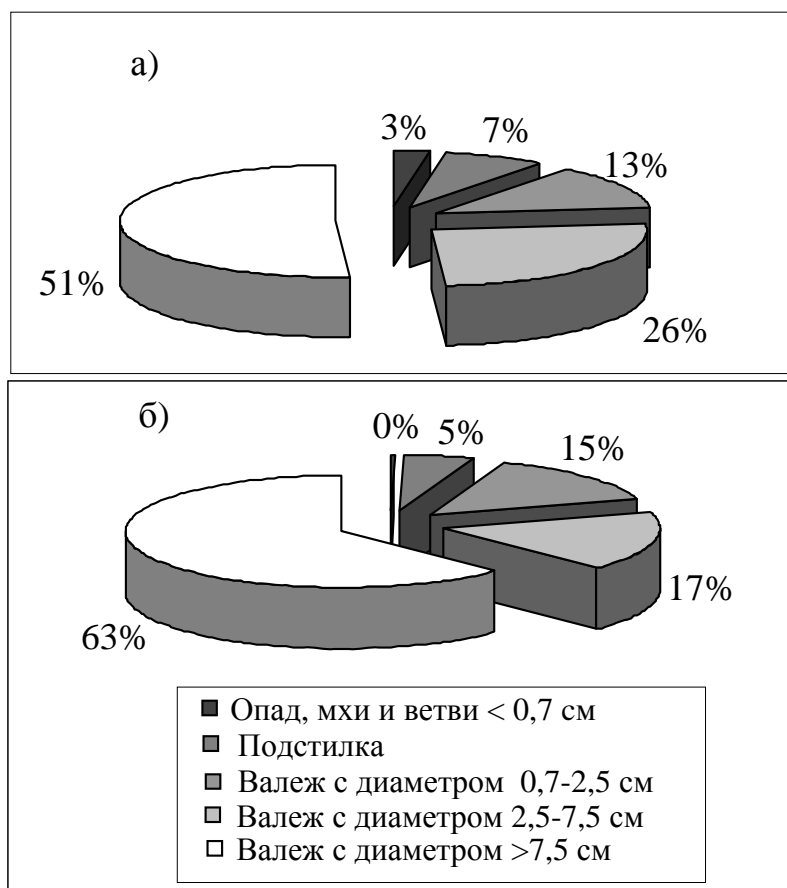


Рис. 14. Запасы горючих материалов на вырубке после предписанных выжиганий при поступательном (а) и площадном (б) режимах выжигания.

После выжиганий минерализация поверхности почвы отмечена от 1 до 100% площади (в среднем – 59%).

Между минерализацией поверхности почвы и полнотой сгорания подстилки была выявлена корреляция (рис. 15):

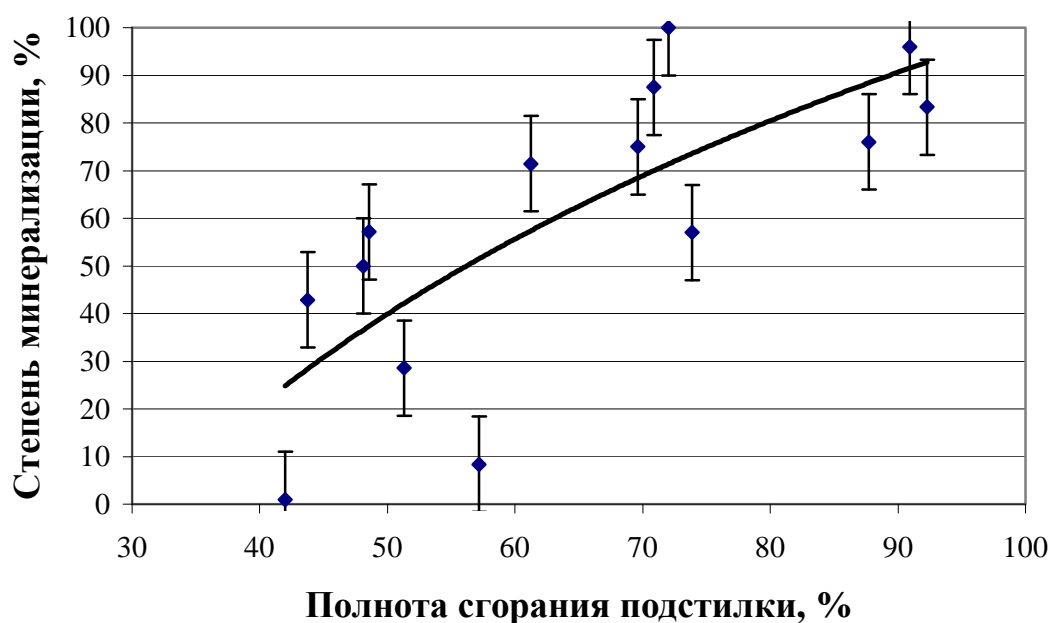


Рис. 15. Связь между минерализацией поверхности почвы и полнотой сгорания подстилки.

Особенности горения на вырубках обусловлены большими запасами проводников горения, мозаичностью их размещения и множеством очагов горения. На вырубках возможно использование двух режимов выжигания: поступательного и площадного. Различные технологии позволяют проводить предписанные выжигания с определенным режимом горения и снижать запасы отдельных групп проводников горения до заранее намеченного уровня.

Глава 4. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ВЫРУБКАХ В ГОРНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ

Выжигания на вырубках в горных лесах существенно отличаются от выжиганий в равнинных условиях. Распространение горения на склонах различной крутизны имеет ряд особенностей (Davis, 1959):

- горно-долинная циркуляция и трансформация местных воздушных масс определяет частую смену направления и скорости ветра, что существенно влияет на характеристики горения;

- на вершинах склонов скорость ветра постоянно превышает 5 м/с, что увеличивает опасность переброса горящих частиц за пределы вырубки и образования новых очагов горения;

- в течение суток из-за изменений направления и скорости ветра осложнен контроль за поведением огня. Часто по этой причине выжигания приходится проводить в ночные часы, что затрудняет управление и контроль действиями пожарных;

- при продвижении вверх по склону интенсивность горения резко возрастает. При этом образуется конвекционная колонка, втягивающая горящие частицы на высоту до 500-1000 м, где они могут разлетаться на сотни метров от вырубки, образуя новые очаги горения, оперативное обнаружение которых затруднено. Они могут разрастаться до крупных размеров;

- при выжиганиях на крутых склонах от кромки горения вниз по склону часто произвольно передвигаются тлеющие крупномерные порубочные остатки, которые образуют очаги горения, быстро распространяющиеся вверх по склону и создающие опасные ситуации для людей, находящихся ниже кромки первоначального горения.

В связи с этим задачей контролируемых выжиганий в горах является регулирование параметров горения (интенсивности, скорости распространения, продолжительности и др.) для достижения наибольшей

полноты сгорания лесных горючих материалов с минимальными затратами сил и средств и наименьшим снижением плодородных свойств почвы. Этого можно добиться путем подбора оптимальных метеорологических параметров в начале зажигания, влагосодержания горючих материалов, а также методов и способов выжиганий.

4.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Предписанные выжигания с целью улучшения лесовосстановления на вырубках проводились в горных лесах Восточного Саяна. По лесорастительному районированию эти леса отнесены к Алтае-Саянской горной лесорастительной области (Типы лесов, 1980; Коротков, 1994). Район исследований характеризуется на основе работ П. К. Красильникова (1961), С. В. Гудошникова (1963), Г. А. Зверевой (1966), А. Б. Жукова и др. (1969).

4.1.1. РЕЛЬЕФ, КЛИМАТ, ПОЧВЫ

Район исследований характеризуется горным рельефом с абсолютными высотами над уровнем моря от 400 до 900 м. Некоторые горные вершины достигают высоты 1500 м. Долины многочисленных рек и ручьев – узкие и глубокие. Крутизна склонов колеблется в пределах от 5 до 35°.

В формировании почв в горных условиях определяющее значение имеют элементы рельефа: экспозиция, крутизна склонов и высота над уровнем моря. Эти факторы в сочетании с характером лесной растительности обуславливают особенности развития почв. Наиболее распространены на этой площади дерновые почвы различной степени оподзоленности. В долинах рек распространены торфяно-подзолистые почвы, реже встречаются луговые. По механическому составу это обычно суглинки, иногда супеси. На нижних и средних частях склонов формируются дерново-слабоподзолистые средне щебнистые почвы. Они отличаются плодородием и приурочены к

зеленомошным и осочково-разнотравным типам леса. На пологих склонах северных экспозиций формируются менее распространенные серые лесные суглинистые почвы.

Климат района исследований характеризуется умеренно теплым летом и относительно холодной зимой. Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца составляет 16,4°C, максимальная достигает 38°C. Это район избыточного увлажнения, среднегодовое количество осадков достигает 604 мм. Основная их часть выпадает в летние месяцы и в сентябре. В июле-августе осадки могут быть в виде ливней. Весна – довольно сухая.

Устойчивый снежный покров лежит более пяти месяцев. Осенний переход от окончания вегетационного периода до установления снежного покрова длится около 25 дней. Продолжительность периода между полным сходом снежного покрова и наступлением вегетации у растений составляет 10 дней. Средняя высота снежного покрова под пологом леса – 56 см, на открытых участках – 22 см. Наибольшей высоты снежный покров достигает в первой декаде марта. Склоны южных экспозиций освобождаются от снега на 5-10 дней раньше, чем северных. На открытых участках почва промерзает до 240 см.

Преобладающими во все времена года являются ветры юго-западного и западного направлений. Среднегодовая скорость их колеблется от 1,6 до 2,6 м/сек (наибольшую скорость имеют ветры преобладающих направлений). Самыми ветреными месяцами являются май и июнь, что значительно повышает в это время пожарную опасность.

Продолжительность вегетационного периода достигает в горной части 135 дней, в лесостепной – 149. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 96 дней с колебаниями в отдельные годы от 79 до 105 дней. Заморозки возможны в любой месяц, абсолютные колебания температур достигают 96°C.

Климат района исследования – континентальный с умеренно теплым летом, относительно холодной зимой с устойчивым снежным покровом и

небольшим количеством осадков весной. В этот период в лесу и на вырубках наблюдается высокая пожарная опасность, чему способствует низкая относительная влажность воздуха в сочетании с сильными ветрами и наличием сухого и рыхлого травяного покрова.

4.1.2. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Вертикальная поясность в районе исследований четко выражена: низкогорные светлохвойные леса сменяются горно-таежными пихтово-кедровыми лесами, а еще выше – подгольцовыми кедровниками.

Пояс светлохвойных лесов располагается в низкогорье и частично – в среднегорье (300-700 м), представлен лиственнично-сосновыми и лиственничными лесами. В настоящее время они в значительной степени пройдены рубками и подвергаются пожарам, вследствие чего большие площади заняты вторичными – березовыми или осиновыми лесами. Для сосняков низкогорного пояса характерна однородность. Она выражается в однотипности размещения по элементам рельефа, в составе древостоя и нижних ярусов.

По выпуклым склонам северной экспозиции распространены сосняки зеленомошной группы. Древостои включают примесь лиственницы, пихты и кедра. Преобладает подрост пихты и кедра.

Обширные площади заняты сосняками разнотравной группы типов леса на дерново-лесных почвах. Древостои, как правило, перестойные, с примесью лиственницы, в значительной степени подвергавшиеся воздействию пожаров, рубок, подсочки.

Темнохвойный пояс характерен для среднегорья (700-1300 м), отличается господством пихтово-кедровых и кедровых лесов. Преобладает зеленомошная группа кедровников. Для нее характерны большая сомкнутость древостоя, примесь по склонам пихты, а в долинах – ели, слабое развитие подлеска и однообразие мохового и

травяно-кустарничкового покрова. Древостой – в основном перестойные, естественное возобновление – хорошее. После пожаров и сплошных рубок лесовосстановление идет через смену пород. Широкое распространение зеленомошных кедровников характерно для континентального склона Восточного Саяна (Красильников, 1961; Гудошников, 1963; Чередникова 1963; Типы лесов..., 1980).

4.1.3. ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ

Хотя горимость лесов Восточного Саяна в последние десятилетия значительно возросла, по сравнению с другими районами Красноярского края она остается одной из самых низких. Увеличение числа пожаров в предгорьях Восточного Саяна (бывший Манский лесхоз) связано с интенсивным лесопользованием. В последние годы здесь наблюдается устойчивая тенденция увеличения горимости (рис. 16).

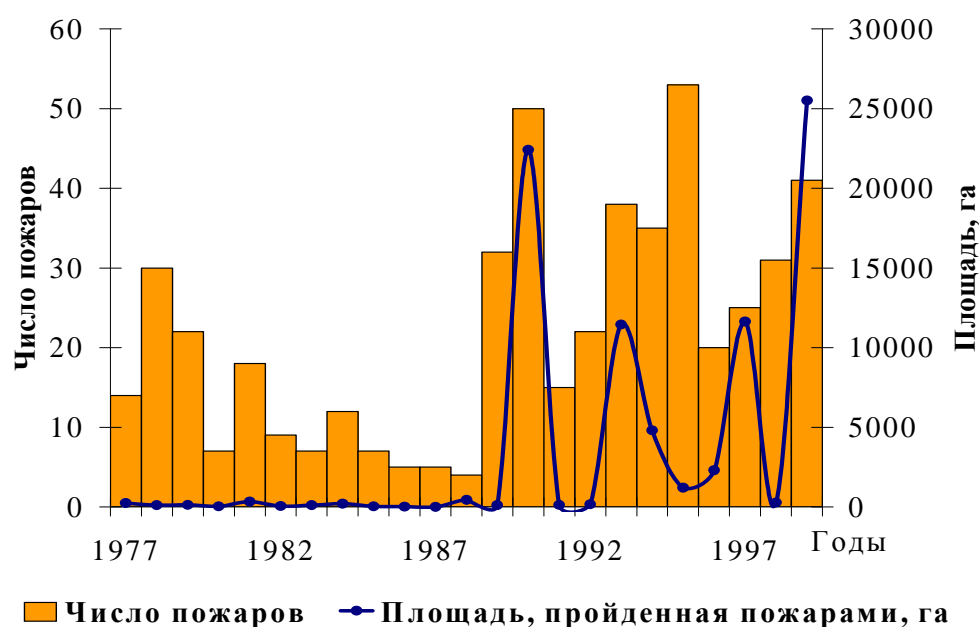


Рис. 16. Горимость лесов бывшего Манского лесхоза.

В 1999 году в районе исследований было зафиксировано рекордное число (77) лесных пожаров. Общая пройденная огнем площадь за этот год

составила 35428 га, что равноценно территории, пройденной рубками за 10 лет. На долю крупных пожаров приходится 23 % от общего числа пожаров и более 97 % выгоревшей площади. Преобладают низовые лесные пожары. На долю верховых приходится лишь около 5 % от общего числа пожаров (табл. 12).

Таблица 12

Число, виды пожаров и выгоревшая площадь

Годы	Всего пожаров		В том числе крупных пожаров		Вид пожара	
	Число	Площадь, га	Число	Площадь, га	Низовые	Верховые
1991	30	1024,5	8	930	25	5
1992	19	114,3	-	-	19	-
1993	52	11264,5	11	11125	47	5
1994	52	1941,8	15	1728,5	50	2
1995	62	1752,3	9	1595	59	3
1996	45	4109,6	19	3761	45	-
1997	52	17901,5	20	17595	52	-
1998	48	582,0	4	260	48	-
1999	77	37953,8	13	37515	72	5

Площадь лесного пожара редко достигает 5 га. Но при экстремальных условиях (длительная засуха, сильный ветер, крутые склоны и т.д.) она значительно возрастает, так как пожары переходят в верховые и охватывают большие участки леса. За последнее десятилетие здесь зарегистрировано 6 пожаров, площадь которых превышала 10 тыс. га, а в 1999 г. – 2 (рис. 17).

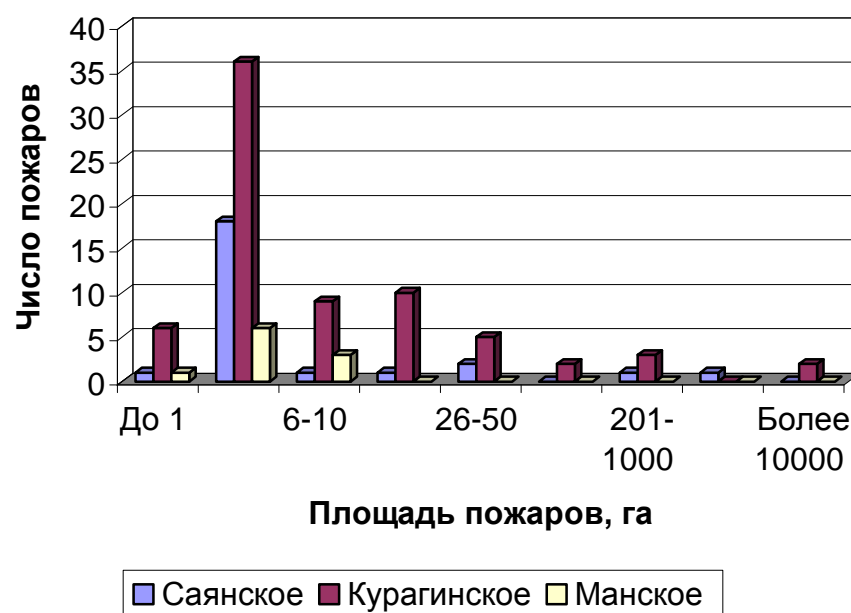


Рис. 17. Распределение лесных пожаров по их площади в предгорьях Восточного Саяна в 1999 году по данным авиаотделений.

В 82 % случаев причиной лесных пожаров является небрежное обращение с огнем, и лишь в 15 % – грозы (рис. 18). Возгорания от гроз происходят в основном в июле.

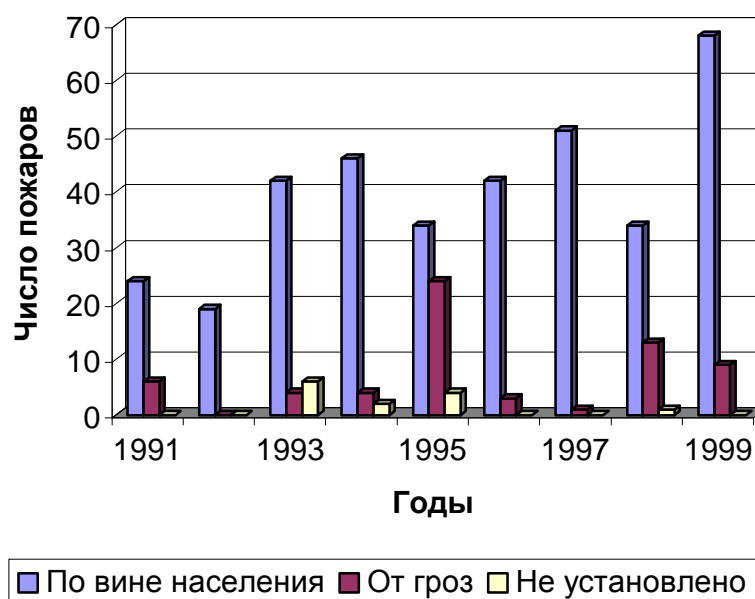


Рис. 18. Причины возникновения пожаров

Основное число пожаров возникает в мае, сразу после схода снежного покрова. Благодаря сильным ветрам и низкой относительной влажности воздуха происходит быстрое высыхание напочвенных горючих материалов, и пожары могут распространяться на большие площади. Этому способствует наличие на вырубках и склонах большого количества сухой прошлогодней травы. Максимальное число лесных пожаров приходится на май и июнь, 41 и 23 % от общего числа лесных пожаров соответственно.

В начале июля наблюдается значительное снижение горимости в связи с появлением зеленых трав и кустарников на вырубках и под пологом леса. По данным М. А. Софронова (1967), весенний период повышенной пожароопасности в горных лесах заканчивается, когда запас травостоя достигает 1/2-2/3 от своей максимальной величины.

Большая часть выгоревшей площади приходится на вырубки, гари и не сомкнувшиеся лесные культуры (рис. 19). Интенсивные лесозаготовки в районе исследований ведутся с конца 1930-х годов. Особенно большие площади лесов вырублены в 1970-1980 годы. Так, только в Унгутском лесничестве с 1978 по 1998 год были вырублены леса на площади более 15000 га, что составляет 16,6 % от площади лесничества. Часто один и тот же участок леса в течение 10 лет был пройден пожаром дважды и даже трижды. Это связано с интенсивностью пожара и объема оставшихся горючих материалов. В некоторые годы (1991, 1996, 1998, 1999 гг.) площадь пожаров на вырубках была равна выгоревшей покрытой лесом территории, а в 1997 году даже превышала ее (рис. 20).



Рис. 19. Палово-кипрейные вырубки

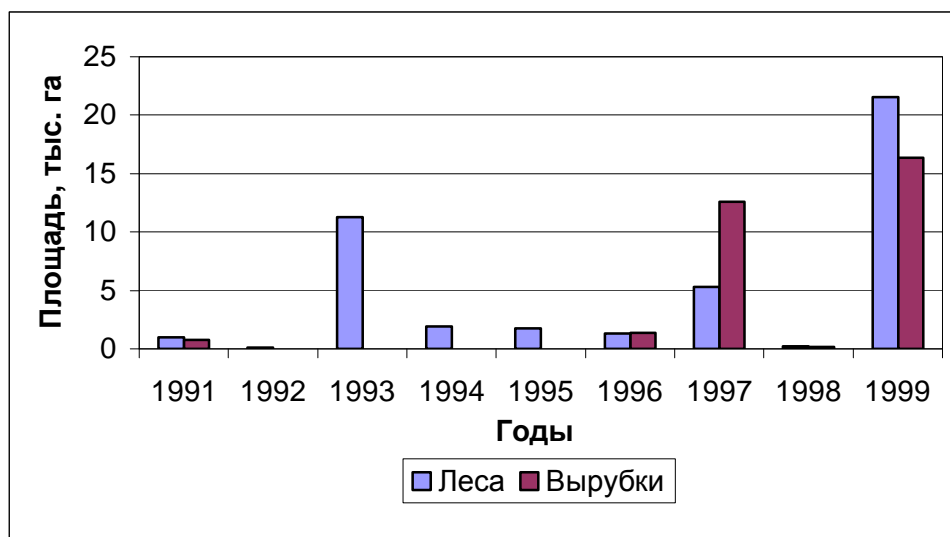


Рис. 20. Соотношение площади лесов и вырубок, пройденных лесными пожарами (на примере бывшего Манского лесхоза)

При пожарах на вырубках погибает значительная часть (около 25 %) лесных культур. Это связано с тем, что лесные культуры, создаваемые на минерализованных полосах, окружены участками с большим количеством порубочных остатков. Бульдозер, прокладывая минерализованную полосу, сдвигает порубочные остатки в большие валы. Во время пожара порубочные остатки в этих валах горят с высокой интенсивностью, вследствие чего саженцы гибнут от термического ожога.

4.2. ТИПЫ ВЫРУБОК

Современное состояние лесов таежной зоны Сибири в значительной степени связано с воздействием на них антропогенного фактора. К настоящему времени все доступные леса пройдены рубками. В связи с этим появилась необходимость полного и своевременного облесения вырубок хозяйственно ценными древесными породами. Возникла потребность в совершенствовании классификаций вырубок. Теоретической основой для систематизации лесовозобновительных процессов на вырубках стало учение о типах вырубок, разработанное в 50-е годы прошлого столетия И. С. Мелеховым. Практическое значение его заключается в выборе наиболее

эффективных способов лесовосстановления на вырубках. Исследования лесовозобновительных процессов на горных вырубках выполнены рядом ученых (Бабинцева, 1965; Бузыкин, 1964; Побединский, 1965; и др.).

Удаление древесного полога при рубках приводит к резким изменениям лесорастительных условий, в первую очередь – освещенности, термического режима воздуха и почв. Более выровненная температура воздуха под пологом леса значительно отличается от температурного режима на вырубке. Сохранившийся подрост испытывает сильный стресс, сказывающийся на ухудшении его роста. Заращение пройденных рубками участков и их типологическое разнообразие в горных темнохвойных лесах корректируются рельефом. Травяной покров на крутых выпуклых световых склонах – более ксерофитный, чем на теневых. В травостое преобладают осока большехвостая (*Carex macroura* Meinsh.), лесостепное разнотравье и кустарники (карагана желтая (*Caragana arborescens* Lam.), кизильник черноплодный (*Cotoneaster microphyllus* Wall.), спирея трехлопастная (*Spiraea trilobata* L.)). На пологих склонах (крутизной менее 10 град.), независимо от их экспозиции, в травостое доминируют виды мезофитного разнотравья. На таких вырубках с увеличением давности рубки изменяется обилие и проективное покрытие доминирующих видов, следовательно, и тип вырубки (рис. 21).

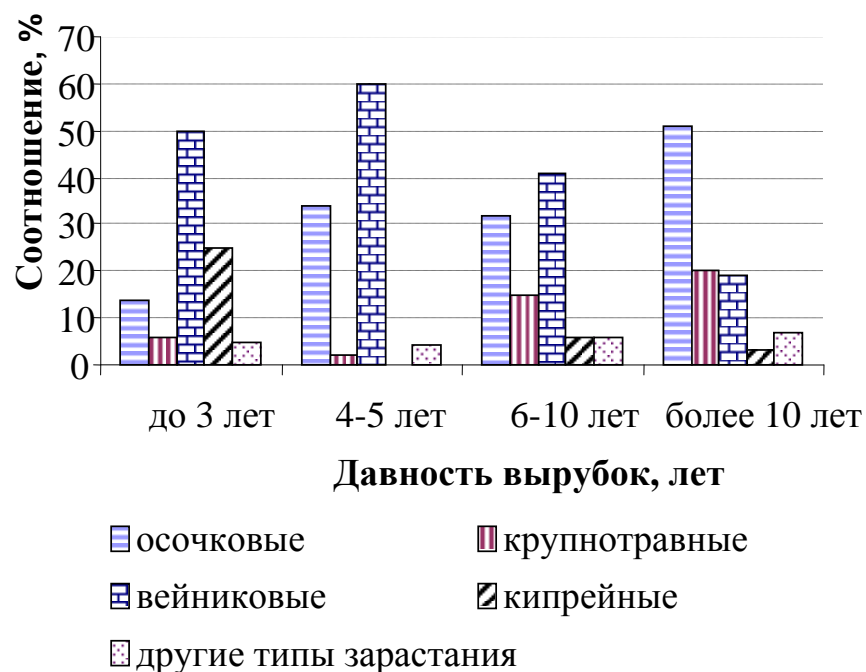


Рис. 21. Типологическая структура вырубок

Среди вырубок давностью 2-3 года преобладает высокотравно-вейниковый тип (50 %). К началу смыкания крон молодых древесных растений (на рубках старше 10 лет) преобладает осочково-разнотравный тип (52 %). Доля высокотравно-вейниковых вырубок составляет 23 %, а зеленомошный тип отсутствует (Иванова, Перевозникова, 1994). Это существенно тормозит процесс возобновления коренных пород, т.к. вейник тупокососовый (*Calamagrostis obtusata* Trin) является основным задернителем почвы и препятствует появлению всходов и росту семян.

Не менее важным препятствием лесовосстановлению на рубках является захламленность поверхности почвы порубочными остатками. Плотный слой мелких порубочных остатков препятствует появлению всходов.

В среднем количество порубочных остатков после зимних рубок в Унгутском лесничестве находилось в пределах 50-120 т/га. Общий запас горючих материалов при этом составляет от 72 до 154 т/га (Табл. 13). С увеличением давности рубок наблюдается перераспределение запасов

горючих материалов. Снижение запасов характерно лишь для опада и мхов. Уменьшение массы опада объясняется быстрым его разложением и переходом в категорию подстилки. Мхи на открытом месте не выдерживают конкуренции с травяной растительностью и постепенно отмирают. Увеличение количества крупномерных порубочных остатков (диаметром более 7,5 см) объясняется вываливанием сухостоя и тонкомера, оставленного при рубке деревьев. Это явление наблюдалось на всех вырубках, где на маломощных горных почвах деревья имеют поверхностную корневую систему.

Таблица 13

Средние запасы горючих материалов на вырубках

Давность рубок, лет	1	2-3	4-5	6-10
Горючие материалы (ГМ)	Запас горючих материалов, т/га			
Травы и кустарнички	0,9	2,2	3,1	2,1
Мхи	0,4	0,3	0,1	0,1
Опад	26,8	26,4	20,5	17,6
Подстилка	7,5	11,8	9,9	10,0
Валеж и сучья (диаметр до 7,5 см)	3,2	3,3	3,2	3,1
Валеж и сучья (диаметр более 7,5 см), в том числе: неразложившиеся полуразложившиеся	79,1	55,9	102,7	103,7
	68,9	41,4	95,1	14,3
	10,2	14,5	7,6	89,4
Всего	117,9	99,9	139,5	136,6

Исследования показали, что лесовозобновление хвойных пород после сплошнолесосечных рубок в Восточном Саяне проходит неудовлетворительно. После рубок сохраняется не более 50-60% подроста. Большое количество оставленного крупномерного подроста вываливается ветром, особенно часто это явление наблюдается на склонах, крутизной более 18 градусов. Доминирование всходов лиственных пород обуславливается повсеместным присутствием (не менее 5%) в темнохвойных

лесах осины и березы. В совокупности с высокой горимостью на вырубках это ведет к смене хвойных насаждений на хозяйственно малоценные лиственные, в результате чего на больших площадях оборот рубки затягивается на несколько десятилетий.

Среднее количество порубочных остатков на вырубках бывшего Манского лесхоза находится в пределах 50-120 т/га, а общий запас горючих материалов при этом достигает 154 т/га. Это в большой мере влияет на увеличение горимости лесов. За период с 1990 по 2000 гг. в разных лесничествах пожарами было пройдено от 20 до 30% общей площади.

Проблема пожароопасности и лесовосстановления на вырубках в горных темнохвойных лесах Восточного Саяна стоит очень остро. Более половины лесокультурного фонда требует искусственного лесовосстановления, а выбор методов и способов его осуществления должен иметь альтернативные варианты, в зависимости от характеристик каждого участка.

4.3. ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКОВ ЛЕСА И ВЫРУБОК

Для контролируемых выжиганий были подобраны вырубки, где большая захламленность сочеталась с невозможностью лесовосстановления за счет сохраненного подроста. Выжигания проводились на вырубках в пихтарниках зеленомошно-разнотравных и зеленомошно-мелкотравных, на склонах разной экспозиции и крутизны (табл. 14).

Характеристика темнохвойных древостоев до рубки

№ участка/ год выжигания	Местоположение - экспозиция/ крутизна склона, град.	Тип леса	Состав древостоя	Полнота	Запас, м ³ /га
1/1998	СВ/13-18	Пихтарник осочково-зеленомошный	4П4Е1К1Ос+Л,Б	0,6	350
1/1999	3/15	Пихтарник осочково-зеленомошный	5П5Е+С,Л,К,Б	0,5	320
1/2000	3/15	Пихтарник осочково-зеленомошный	5П5Е+С,К,Б	0,6	350
2/2000	3/18	Пихтарник осочково-зеленомошный	5П5Е+С,К,Б	0,6	350
3/2000	С/26	Пихтарник вейниково-зеленомошный	5П3Ос1К1С	0,7	280
4/2000	СВ/15	Пихтарник вейниково-зеленомошный	5П3Б1С1Ос+К	0,6	320
5/2000	В/26	Пихтарник разнотравно-осочковый	7П1К1Б1Ос	0,8	300

До и после рубки леса проведен учет хвойного подроста (табл. 15). Почти на всех вырубках сохранность подроста была очень низкой и не превышала 23 %, и лишь на одной вырубке сохранилось до 40 % подроста.

Характеристика хвойного подроста до и после рубки

№ участ- ка/год выжи- гания	До рубки					На вырубках перед выжиганием		
	Состав	Коли- чество, шт/га	Сред- няя высота, м	Воз- раст, лет	Количес- тво подроста, шт/га	Жизненное состояние, %		
						Здоров- ый	Повреж- денный	Сухой
1/1998	6ПЗОс1Е+К	2800	3	30	280	15	35	60
1/1999	4П4Ос2К+Е,Б	3200	4	35	260	25	55	20
1/2000	3ПЗОс2К2Б	3200	2	30	260	30	35	35
2/2000	3ПЗОс3К1Б	3000	4	35	490	40	50	10
3/2000	5П2Ос2Б1К	4500	2	25	1920	20	72	8
4/2000	3БЗОс2К1П1Е	3400	6	40	800	10	75	5
5/2000	4П2Е2К2Ос	3000	4	35	270	20	60	20

В связи с тем, что рубка и трелевка проводилась зимой, минерализация поверхности слабая и напочвенный покров почти полностью сохранился. Вместе с тем запасы порубочных остатков и их размещение на вырубках были неоднородными, что зависело от морфоструктуры древостоя, технологии валки деревьев и способа их трелевки.

После рубки запас горючих материалов резко возрастает за счет порубочных остатков разной категории крупности, а также увеличения опада из хвои и мелких веточек. Основную долю запаса ГМ при этом составляют крупные ветки, вершины деревьев и неликвидная древесина, а также валеж (табл. 16). Наибольший запас на свежих зимних вырубках (50-70%) формируется за счет крупных порубочных остатков и валежа, доля массы вегетирующих трав, задерживающих распространение горения, перед проведением выжигания составляла 0,5-2% и не препятствовала распространению горения.

Таблица 16

Запас горючих материалов на вырубках до проведения контролируемых
выжиганий, т/га

№ участка/год выжигания	Опад и мхи	Подстилка	Порубочные остатки, диаметр, см			Травы и кустарнички	Общий запас
			0,7-2,5	2,5-7,5	> 7,5		
1/1998	24,2	18,9	0,6	1,6	55,2	1,1	101,6
1/1999	23,5	16,4	0,8	2,5	61,2	1,6	106,0
1/2000	21,4	16,2	0,6	1,8	76,0	0,4	116,4
2/2000	18,9	16,5	1,4	3,4	105,3	0,8	146,3
3/2000	25,8	6,8	1,0	4,1	112,4	1,6	151,7
4/2000	26,8	15,7	0,3	1,7	53,6	2,4	100,5
5/2000	24,8	7,5	0,6	1,7	49,6	1,1	85,3

Запас опада и мхов составляет около 2 кг/м². Тепловыделение при горении такой массы достаточно для сжигания крупных порубочных остатков, которые после воспламенения значительно повышают интенсивность горения. Запасы вегетирующих трав незначительны и они мало влияют на процессы горения.

4.4. ТЕХНОЛОГИИ ВЫЖИГАНИЙ

Выбор способа пуска огня зависит от природных характеристик участка выжигания, в том числе – от вида и запаса порубочных остатков, их структуры, размещения на площади, наличия участков, не подлежащих выжиганию, и др.

Для выжигания на склонах более 10-15° использовались в основном два способа зажигания: линейный и точечный. В зависимости от характера горения могут использоваться также комбинации этих способов. Кроме того,

для ускорения выжигания использовалось также ступенчатое зажигание (точечное и линейное).

1. Линейный способ

Линейное зажигание (рис. 22).



Рис. 22. Ступенчатое линейное зажигание

Зажигание ГМ проводится вдоль минерализованной полосы, проложенной в верхней части склона. На флангах зажигание проводится на несколько метров вниз по склону. При этом необходимо следить, чтобы линия огня была ровной и непрерывной. Это обеспечивает продвижение огня только вниз по склону, что важно для достижения высокой полноты сгорания ГМ и безопасности выжигания. Способ эффективен в весенне-летний период, до наступления максимума

вегетирующей массы трав и кустарничков. Скорость ветра до 5 м/сек и смена его направления мало влияют на продвижение кромки горения.

Точечное зажигание (рис. 23). Этот способ можно использовать при любом рельефе – от равнинного до горного. Способ отличается тем, что зажигание проводят не на непрерывной линии, а только в отдельных точках. В первую очередь зажигают скопления горючих материалов (на разделочных площадках, волоках, местах складирования крупномерных отходов и т.д.). Затем создаются очаги горения вдоль одной линии на участках с меньшей захламленностью. При этом способе можно повысить интенсивность огня, скорость и полноту сгорания при наличии обильной вегетирующей травяной растительности. Метод наиболее эффективен в фенофазу полного развития травяно-кустарничкового яруса.

Ступенчатое зажигание (рис. 22 и рис. 23). При ступенчатом линейном зажигании пуск огня, как обычно, начинается по линии вдоль минерализованной полосы, проложенной в верхней части склона. Затем после выгорания полосы шириной 10-20 м создается новая линия огня параллельно первой, на некотором расстоянии вниз по склону. В этом случае огонь распространяется как вниз, так и вверх по склону. Интенсивность горения, распространяющегося вверх по склону, резко увеличивается.

После соединения кромки огня, направленной вверх по склону, с кромкой, спускающейся вниз, зажигается следующая линия и т.д. Этот способ дает возможность сократить время выжигания на вырубке, регулировать интенсивность горения и полноту сгорания ГМ.

Аналогично можно использовать также и ступенчатое точечное зажигание.

Таблица 17

Метеоусловия перед проведением выжиганий на вырубках

№ участка / год	Дата выжигания	КП ^{*)} , ед.	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Направление ветра	Скорость ветра, м/сек
1/1998	15.08	974	18	54	В	1-2
1/1999	06.07	767	23	48	СЗ	1-2
1/2000	02.08	751	18	50	З	2-3
2/2000	03.08	951	19	60	штиль	–
3/2000	07.09	790	19	75	СЗ	1-2
4/2000	08.09	1010	22	62	С	1-2
5/2000	10.09	1410	21	68	штиль	–

^{*)} – комплексный показатель пожарной опасности

Влагосодержание горючих материалов при проведении выжиганий находилось на пределе их возможного воспламенения и распространения по ним горения (табл. 18). Наиболее сухими оказались опад хвои, ветошь трав и веточки с диаметром до 0,7 см. Во всех случаях влагосодержание подстилки находилось в пределах от 93 до 159 %. При таком влагосодержании может сгорать лишь ее верхний слой.

Таблица 18

Влагосодержание горючих материалов на вырубках при проведении выжиганий, %

№ участка/ год выжигания	Опад		Мхи	Подс- тилка	Валеж и сучья, диаметр, см			
	Хвоя	Травя- ная ветошь			< 0,7	0,7-2,5	2,5-7,5	> 7,5
1/1998	14,5	20,6	24,2	93,3	24,5	29,1	35,3	45,6
1/1999	11,7	18,2	29,6	116,4	13,5	13,2	18,9	18,9
1/2000	21,1	19,7	-	95,7	19,3	35,7	30,6	32,1
2/2000	20,9	17,7	34,8	159,0	14,0	33,2	36,7	35,4
3/2000	38,2	24,1	-	127,9	31,1	32,8	36,6	83,3
4/2000	13,5	18,4	27,0	94,6	18,9	19,1	21,6	70,8
5/2000	15,5	17,9	-	104,0	14,3	24,6	31,0	67,3

Продолжительность проведения выжигания зависела, прежде всего, от размеров вырубки и запасов ЛГМ. Она варьировала от двух до пяти часов (табл. 19).

Таблица 19

Характеристики горения при проведении выжиганий на вырубках

№ участка/год выжигания	Характеристика участка		Продолжительность выжигания, час.	Средняя скорость продвижения кромки огня, м/с		Высота пламени, м	
	размер, га	крутизна склона, град.		вверх по склону	вниз по склону	средняя	максимальная
1/1998	3	15	2	1,0	0,3	1,5	3
1/1999	10	15	5	1,7	0,5	1,5	до 5
1/2000	3	15	2,5	0,4	0,1	0,5	1,5
2/2000	3	18	2,5	0,4	0,2	1,2	2
3/2000	6	26	2	0,2	0,1	0,7	1,5
4/2000	5	15	3	0,5	0,3	0,8	2
5/2000	3,5	26	2	0,5	0,3	1	3

Примером может служить описание выжигания на вырубке в 1999 г. (участок 1) в Унгутском лесничестве бывшего Манского лесхоза. Описание других выжиганий приводится в монографии (Валендик и др., 2001). Площадь вырубки и участка выжигания – 10 га. Участок расположен на склоне западной экспозиции крутизной 15 градусов. Запас горючих материалов – 106 т/га. Основная их часть - крупные порубочные остатки. Напочвенные ГМ и мелкие порубочные остатки размещались на площади относительно равномерно в виде небольших скоплений в местах обрубки сучьев. Средняя толщина подстилки - 2,7 см. Начало выжигания 21:00, 6 июля 1999 г. Погодные условия: температура воздуха – 22°C, относительная влажность – 56 %, ветер – северо-западный, скорость на высоте 2 м – 1-2 м/сек, комплексный показатель пожарной опасности –

1258 ед., класс пожарной опасности – III. Метод выжигания – сплошной пал. Способ пуска огня – ступенчатый.

Первая линия зажигания (1) была проведена вдоль минерализованной полосы, проложенной поперек склона в верхней его части (рис. 24).

Следующее зажигание (2) было проведено вдоль лесовозной дороги, отделяющей верхний экспериментальный сектор от остальной вырубki. По мере продвижения кромки огня вниз по склону отмечено возникновение огненных вихрей, которые поднимали горящие частицы и перебрасывали через минерализованную полосу. Чтобы избежать появления вихрей на склоне, около границ выжигаемого участка, зажигатель после того, как доходил до минерализованной полосы, продолжал зажигать ГМ, двигаясь вниз по склону на 10-15 м. Такой фланговый огонь на этом отрезке позволял выжечь горючие материалы около минерализованной полосы до подхода основной кромки огня, распространяющейся вниз по склону.



Рис. 24. Схема проведения выжигания (участок №1, 1999 г).

После прохождения огнем трети вырубki, была предпринята попытка провести ступенчатое зажигание (3), однако из-за большой интенсивности горения и опасности появления огненных вихрей в дальнейшем от этого пришлось отказаться. Когда от кромки огня до нижней минерализованной полосы оставалось 30 м, огонь от нее был направлен вверх по склону (6). В ходе выжиганий было локализовано и потушено два очага горения площадью до 5 м² за пределами вырубki. Высота пламени на участке в среднем составляла 1,5 м; а в местах скопления ГМ – до 5 м. Средняя скорость

распространения кромки огня вниз по склону – 0,5 м/мин, вверх – 1,5-2 м/мин. Время пламенного горения с начала зажигания и до его окончания составило около 5 часов. Тление пней и крупных остатков продолжалось в течение 4 суток. Площадь вырубki была пройдена огнем на 95 %. При этом толщина слоя подстилки в среднем уменьшилась на 1,3 см. Сдерживание огня осуществлялось бригадой из 10 человек, оснащенных ранцевыми опрыскивателями, бензопилой, лопатами и топорами. Большая часть людей, занятых на сдерживании огня, находилась около движущейся вниз кромки на флангах участка. Периодическое окарауливание в верхней части вырубki проводили 3 человека, оснащенных ранцевыми опрыскивателями. Мобильная группа работников лесхоза из 5 человек, располагающая пожарным инвентарем и трактором ТЛП-4, на следующий день осуществляла локализацию очагов горения. Окарауливание на вырубке продолжалось в течение 4 суток.

4.6. СОСТОЯНИЕ ВЫРУБОК ПОСЛЕ ВЫЖИГАНИЯ

На всех участках полнота сгорания ГМ не превышала 50 %. Мелкие проводники горения с невысоким влагосодержанием (до 30%) горели наиболее интенсивно (рис. 25а). Их количество после выжигания уменьшилось в среднем на 65-70% (табл. 20).

Полнота сгорания слоя подстилки находилась в пределах 19 – 48 % (табл. 21). Это обусловлено как влагосодержанием подстилки ($r=-0,87$), так и продолжительностью ($r=-0,75$) и интенсивностью горения ($r=-0,81$). Сохранившийся слой подстилки является оптимальным для прорастания семян хвойных пород.

При выжигании в среднем сгорали 15-25% крупномерных порубочных остатков и валежа. Крупномерные порубочные остатки обычно обугливаются и теряют способность к воспламенению.



а)



б)

Рис. 25. а) Выжигание на вырубке б) Вырубка после выжигания.

Таблица 20

Запас горючих материалов на вырубках после выжигания, т/га / полнота сгорания, %

№ участка/год выжигания	Опад и мхи	Подстилка	Порубочные остатки, диаметр, см			Травы и кустарнички	Общий запас/общая полнота сгорания
			0,7-2,5	2,5-7,5	> 7,5		
1/1998	7,3/70	7,4/61	0,2/67	1,0/38	48,1/13	0,7/36	64,7/36
1/1999	4,9/79	9,0/45	0,3/63	1,0/60	42,0/31	1,1/31	58,2/45
1/2000	7,5/65	10,8/33	0,2/68	0,6/67	68/11	0,2/50	87,3/25
2/2000	6,1/68	9,6/42	0,3/79	1,5/56	78,8/25	0,6/25	96,9/34
3/2000	19,4/25	6,1/10	0,6/40	2,9/29	107,5/4	1,3/19	137,8/9
4/2000	6,8/75	8,4/46	0,1/67	1,0/41	41/24	1,8/25	59,1/41
5/2000	5,8/77	3,0/60	0,2/68	0,8/53	37,4/25	0,8/27	48/44

Таблица 21

5/2000	80	3,0±0,5	1,8±0,8	40
--------	----	---------	---------	----

№ участка /год выжигания	Площадь участка, пройденная огнем, %	Средняя толщина слоя подстилки, см		Полнота сгорания подстилки, %
		до выжигания	после выжигания	
1/1998	75	3,4±0,6	2,3±0,4	32
1/1999	95	2,7±0,6	1,4±0,7	48
1/2000	70	2,5±0,8	1,8±0,7	28
2/2000	90	3,1±0,7	2,2±0,8	29
3/2000	30	3,2±0,4	2,6±0,6	19
4/2000	60	2,9±0,5	1,9±0,5	35

Характеристики прогорания подстилки

Полнота сгорания проводников горения на вырубке зависела, прежде всего, от их влагосодержания и интенсивности горения (табл. 22). Корреляция этого показателя с температурой воздуха в приземном слое была невысокой для всех горючих материалов ($r=0,12-0,45$).

Таблица 22

Коэффициенты корреляции полноты сгорания ЛГМ с различными факторами

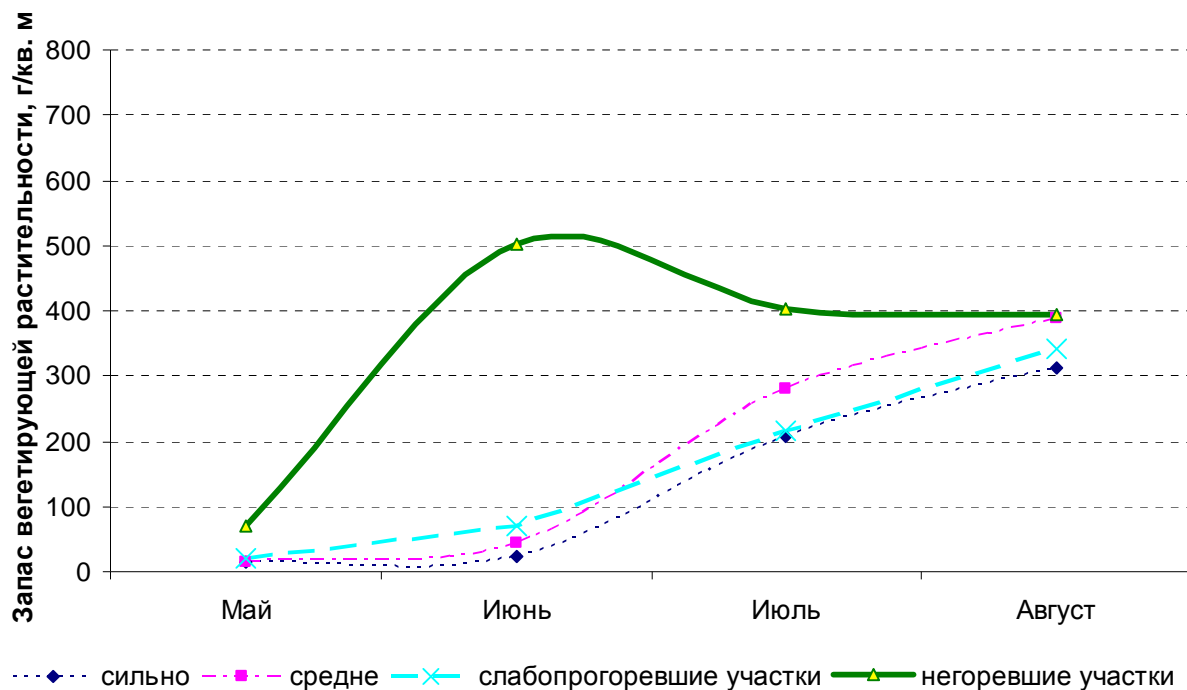
Фактор связи	Опад	Подстилка	Порубочные остатки и валеж, диаметр, см		
			0,7-2,5	2,5-7,5	>7,5
Влагосодержание ГМ, %	-0,99	-0,36	-0,67	-0,31	-0,42
Температура воздуха, °С	0,45	0,22	0,26	0,21	0,12
Относительная влажность воздуха, %	-0,67	-0,38	-0,62	-0,52	-0,34

После контролируемых выжиганий на вырубках в горных темнохвойных лесах остается около 1,5 тонны золы на 1 га, происходит частичная минерализация поверхности, что благоприятно сказывается на последующем лесовозобновлении.

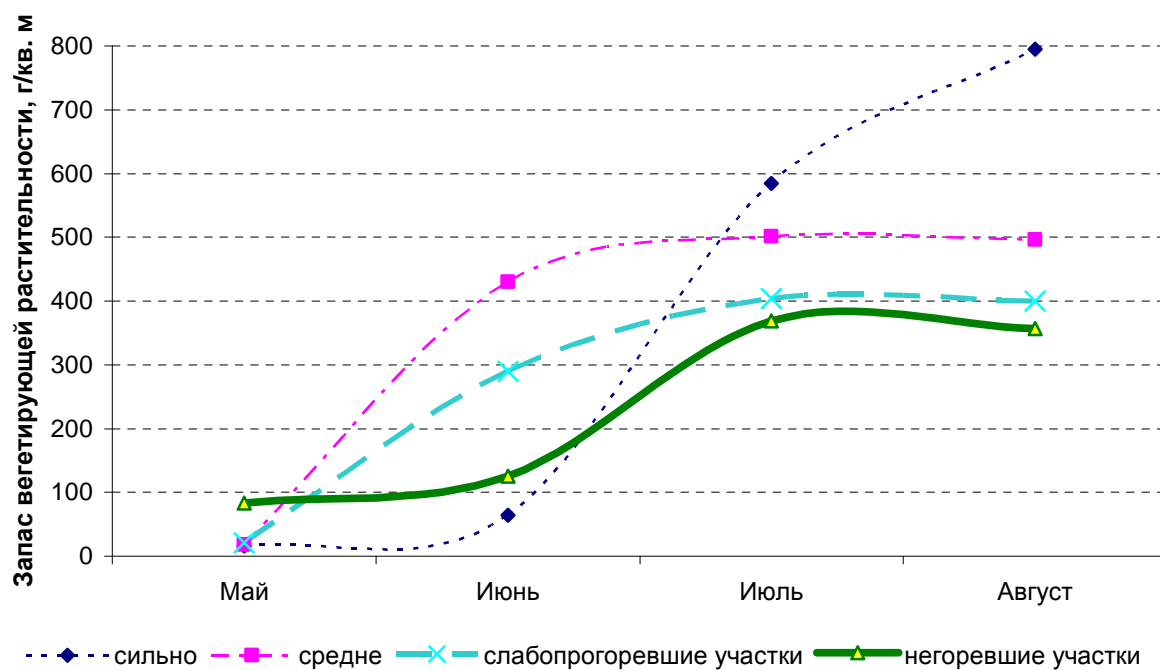
В первый год после контролируемого выжигания преимущественно изменяется структура живого напочвенного покрова. В зависимости от повреждения подстилки формируется мозаичное растительное сообщество, при этом доля злаков в нем значительно уменьшается. На второй год уже явно прослеживается тенденция к формированию растительного сообщества с преобладанием в его составе кипрея. При стихийных пожарах на вырубках начальный этап их зарастания зависит от интенсивности пожара и практически не имеет альтернативных

вариантов. При сильном прогорании подстилки – это монодоминантные кипрейные сообщества, в остальных случаях – кипрейно-злаковые с различной долей участия кипрея в сложении травостоя. Пожары слабой интенсивности, как правило, стимулируют вегетативное возобновление лиственных пород.

Важную роль в уменьшении пожароопасности вырубок играют запас травяной растительности и содержание в ней влаги. Для определения количества влаги отбирали образцы на горевшей части вырубки с учетом степени ее прогорания и одновременно – на негоревшей. Запас травянистых растений устанавливали по укосам на площадках размером 1х1 м в трех повторностях. Срезанные растения высушивали в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния и взвешивали с точностью до 0,1 г. Динамика запасов вегетирующей растительности на различных по степени прогорания подстилки участках отражена на рис. 26.



Первый вегетационный сезон

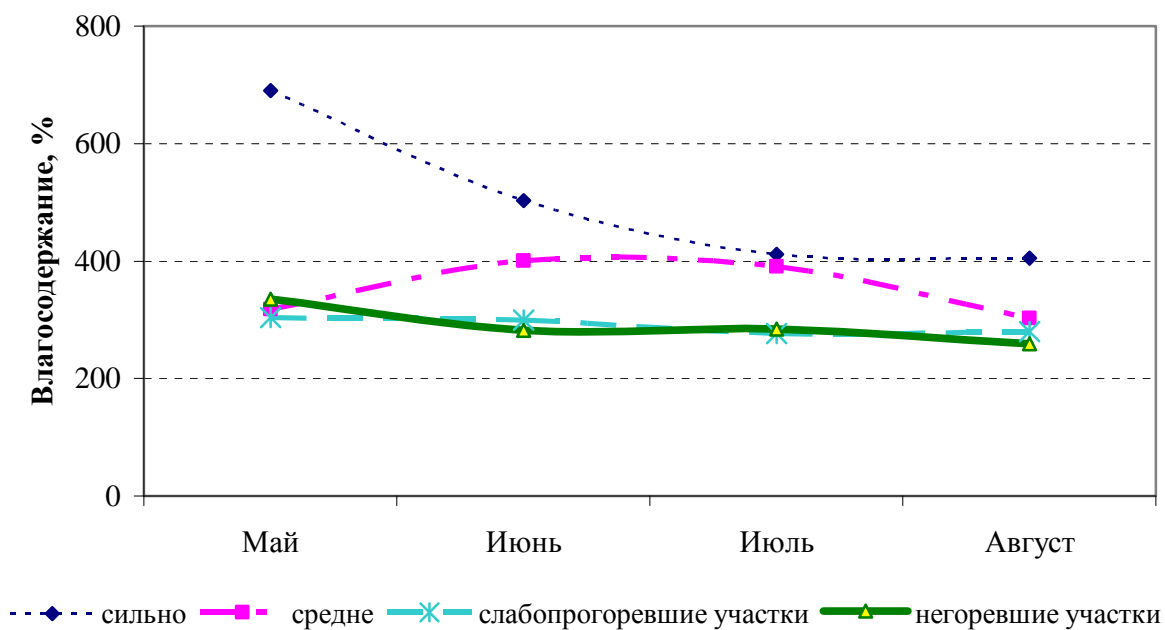


Второй вегетационный сезон

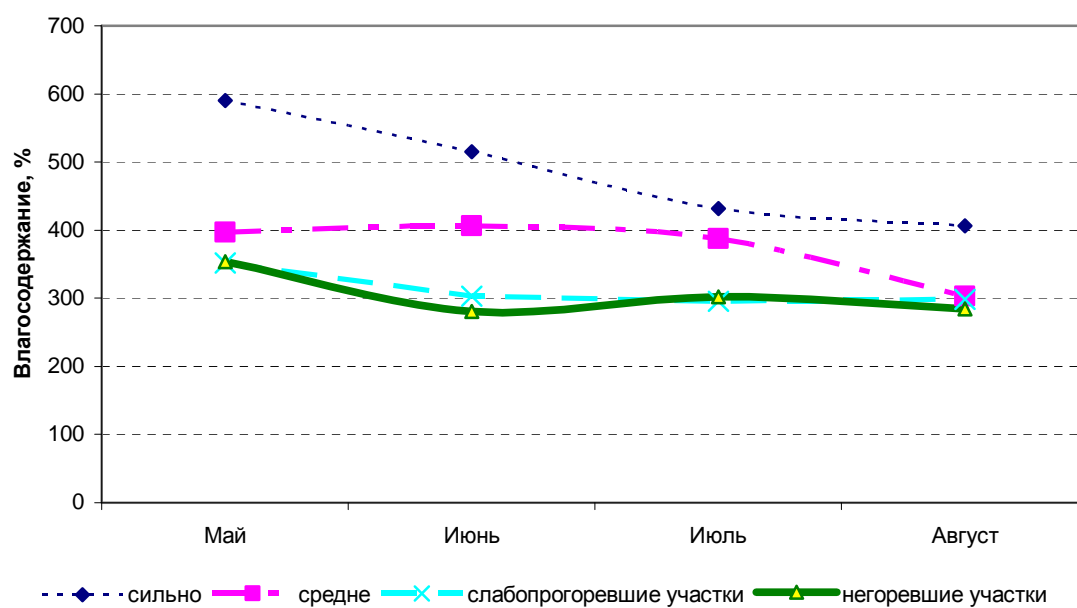
Рис. 26. Динамика запасов вегетирующей растительности на горевших и негоревших участках

В отличие от первого вегетационного сезона, на второй год после выжигания наблюдается четкая дифференциация напочвенного покрова по условиям микросреды, что заметно проявляется в характере и темпах нарастания вегетирующей растительности. В первый вегетационный сезон после контролируемого выжигания надземная фитомасса напочвенного покрова по сравнению с негоревшими участками увеличилась незначительно, причем различий по степени прогорания участков практически не наблюдалось. Но уже на второй год запасы надземной фитомассы напочвенного покрова по сравнению с негоревшими участками существенно увеличились: на сильно прогоревших участках – в 2, на слабо прогоревших – в 1,6 раза.

Максимум влаги в травянистых растениях отмечен во время интенсивного роста (конец мая – начало июня). К середине лета происходило снижение ее содержания в вегетирующей растительности как на горевшей, так и на негоревшей частях вырубki. Причем на пройденных огнем участках оно снижалось значительно меньше, чем на негоревших. На второй год после контролируемого выжигания в мае зафиксировано снижение влагосодержания трав на сильно прогоревших участках на 14,6 % (рис. 27). В летние месяцы различия в данном показателе между первым и вторым годом наблюдений составляли 5-7 %, что находится в пределах среднестатистической погрешности. Это, по-видимому, связано с неизменившейся структурой покрова и сходным видовым составом травянистых растений.



Первый вегетационный сезон



Второй вегетационный сезон

Рис. 27. Влагосодержание вегетирующей растительности на различных по степени прогорания участках

Таким образом, на вырубках в горных темнохвойных лесах, горевших во второй половине лета, в отличие от негоревших, захламленность площади вырубки уменьшается примерно на 50 %, проективное покрытие живого напочвенного покрова – в среднем на 30-40 %, запасы фитомассы – в 1,5 раза, при этом значительно увеличивается влагосодержание вегетирующей растительности. Контролируемое выжигание на вырубках горных темнохвойных лесов, с лесопирологической точки зрения, целесообразно, поскольку существенно снижает их пожарную опасность и не приводит к сокращению биоразнообразия травяных фитоценозов, о чем свидетельствует достаточно высокий коэффициент сходства флористического состава. Лесоводственный положительный эффект от контролируемого выжигания порубочных остатков заключается в формировании кипрейно-палового типа вырубки, благоприятного для последующего лесовозобновления. Участки, пройденные огнем, не требуют дополнительной подготовки почвы при создании посевом или посадкой лесных культур.

Глава 5. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ВЫРУБКАХ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

В сосновых лесах Приангарья (основной лесопромышленной зоне Красноярского края) большинство лесных пожаров возникает на вырубках. Ежегодно здесь появляется около 30 тыс. га вырубков. Пожарная зрелость лесных горючих материалов на вырубках в светлохвойных лесах лишь на 2–3 дня опережает ее под пологом леса. В связи с этим огонь, как правило, переходит в окружающие древостои. Живой покров на вырубках не снижает интенсивности горения и скорости распространения огня. Вследствие этого создается угроза возникновения высокоинтенсивных пожаров в течение всего бесснежного периода.

5.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА

Нижнее Приангарье разнообразно по природным условиям, что нашло отражение в характере растительности. В его пределах проходит рубеж двух зон. К южнотаежной подзоне относятся Заангарье, Приангарское понижение и Чуно-Бирюсинское плоскогорье. Подтайга, или подзона травяных лесов, охватывает северную окраину Канско-Усольской впадины (Любимова, Хотинский, 1960).

Рельеф этой части Приангарья – равномерно плоскогорный. Низкогорные участки чередуются с ровными межгорными понижениями. Общая приподнятость территории оказывает существенное влияние на формирование климата, который, в свою очередь, определяет облик растительного покрова (Коржуев, 1975).

Климат – резко-континентальный. Теплообеспеченность летнего периода в Приангарье заметно ниже, чем в среднем по южнотаежным ландшафтам. Здесь сокращен период с положительными и особенно – с высокими температурами воздуха. Обусловлено это сильным зимним выхолаживанием воздуха. Требуется очень большое количество солнечного и

адвективного тепла для весеннего прогревания сильно охлажденной материковой массы (Крауклис, 1975). Соответственно, на более поздние сроки отодвигаются установление положительных температур и наступление летнего периода. Продолжительность безморозного периода может колебаться от 78 до 99 суток.

Летние температуры воздуха (среднемесячная температура июля равна 17-18°C) не уступают наблюдаемым в других районах южной тайги, а в целом даже несколько выше (Крауклис, 1975). Среднегодовая температура воздуха отрицательная (около -3°C), минимальная -58°C, максимальная -35°C.

Внутриконтинентальным положением Среднего Приангарья объясняется невысокая среднегодовая норма осадков (300-360 мм в равнинных районах, 400-500 мм – в гористых). Количество осадков в Приангарье меньше, чем в других регионах.

Весна и осень обычно сухие: 10-11% от годовой нормы осадков. Максимум осадков приходится на лето (166-171 мм), что составляет 53-57% от годовой нормы.

Растительный покров Приангарского понижения и Заангарья представлен в основном светлохвойными лесами, которые занимают 50–60 % площади, и только 10–15 % приходится на темнохвойные леса (Побединский, 1965). Большинство сосновых лесов приурочено к теплым местообитаниям. Чаще всего они занимают южные склоны с супесчаными и легкосуглинистыми почвами. Сосновые леса этого района не отличаются разнообразием. Э.Н.Фалалеев (1956) выделил здесь всего две группы типов леса: сосняки зеленомошные и сосняки лишайниковые.

Сосняки зеленомошные представлены тремя типами леса: брусничниками, черничниками и разнотравно-зеленомошными. Сосняки лишайниковые объединяют два типа леса: сосняки лишайниково-брусничные и сосняки каменисто-лишайниковые.

В южной тайге Приангарья 4/5 лесопокрытой площади приходится на насаждения хвойных пород. Древостоями с преобладанием сосны занято 37% лесопокрытой площади. Остальную территорию занимают лиственничные (18%), кедровые (13%), елово-пихтовые (11%), мягколиственные леса (21%).

Запас древесины в сосняках изменяется от 60-100 до 500-600 м³/га. Наибольший удельный вес и хозяйственное значение в Приангарье имеют разнотравно-брусничная, бруснично-разнотравная и зеленомошная группы типов леса, которые составляют 70-90% всех сосновых лесов. Преобладают спелые и перестойные насаждения. Промышленное освоение лесов меняет их возрастную структуру: увеличивается доля молодняков и средневозрастных насаждений, снижается – спелых и перестойных.

В южном районе подзоны, из-за увеличения доли темнохвойных лесов, значение сосны снижается. К северо-востоку региона увеличивается участие в лесном покрове лиственничников. Антропогенное воздействие сказывается на увеличении доли лиственных пород.

5.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫРУБОК

В лесопромышленной зоне Приангарья рубкой в основном охвачены сосняки разнотравно-брусничные, бруснично-разнотравные и зеленомошные.

Рубка деревьев и их трелевка вносят резкие изменения в лесорастительную среду. Они обуславливают смену напочвенного покрова, увеличивают его проективное покрытие, что влияет на микроклимат и почву. На месте разнотравных и бруснично-разнотравных сосняков формируются разнотравно-вейниковые вырубки, бруснично-разнотравные сосняки сменяют, в зависимости от экспозиций склонов и давности рубки, кустарничково-вейниковые, кипрейно-вейниково-разнотравные и разнотравные вырубки. Вырубки захламлены сучьями, вершинами деревьев, а также обломками стволов и древесиной лиственных пород. Роль этих порубочных остатков как горючих материалов возрастает в весенне-летний период. Вместе с прошлогодней травой они образуют легко воспламеняемый

рыхлый слой, что способствует повышению природной пожароопасности на вырубках. По окончании лесозаготовок очистка лесосек от порубочных остатков крайне необходима. В настоящее время в лесном хозяйстве России используется ряд способов очистки лесосек: сбор порубочных остатков в кучи и валы с последующим их сжиганием в пожаробезопасный период; сбор в кучи и оставление их на перегнивание; сбор, измельчение порубочных остатков и разбрасывание их по площади вырубки. Все эти способы очень трудоемки и требуют применения специальных технических средств.

Альтернативой механизированной очистке вырубок является огневой способ сплошного пала, как наиболее экономичный и эффективный. До недавнего времени он был запрещен в России (Валендик и др., 2000). Для его практического применения на предприятиях лесного хозяйства необходимы научно обоснованные указания, позволяющие определить метеорологические, природные и экономические условия его применения, а также параметры горения, обеспечивающие достижение лесохозяйственных целей.

Разработка технологий контролируемых выжиганий на сплошных вырубках в светлехвойных лесах проведена в бывшем Усольском лесхозе Красноярского края. На 3-х вырубках были проведены контролируемые выжигания, что позволило выявить некоторые особенности процесса горения. Площадь вырубок варьировала от 7 до 15 га.

При проведении исследований были использованы методики по оценке лесовосстановления (Побединский, 1965); запасов лесных горючих материалов (ЛГМ) (Курбатский, 1970); определению параметров горения при лесном пожаре; метеорологическим наблюдениям.

Площадь пашек составляла около 90% общей площади вырубки, площадь волоков и зон около них - 8-10 %, погрузочных площадок – до 2 %.

Анализ структуры и запасов лесных горючих материалов показал, что общий запас ЛГМ на различных участках вырубки, за исключением погрузочных площадок, находится в пределах от 65 до 80 т/га (табл. 23). Так,

доля площади зон, примыкающих к волокам, невелика, но запас ЛГМ на них нередко превышает 100 т/га. При пожарах это усложняет процесс тушения и локализации.

Таблица 23

Запас лесных горючих материалов на различных
элементах вырубki, т/га

Элемент вырубki	Под- стилka	Вегети- рующая расти- тельность	Опад	Порубочные остатки			Всего ЛГМ
				Диаметр, D, см			
				0,7-2,5	2,5-7,5	более 7,5	
Пaseка	14,5	1,3	6,6	3	8,5	31,2	65,1
Вдоль волоков	9,6	0	30,7	11	17,6	48,3	117,2

Порубочные остатки на вырубках составляют 2/3 запаса ЛГМ, что обуславливает высокую интенсивность горения. Это создает сложность и высокую стоимость тушения пожаров на таких площадях. На трелевочных волоках и зонах вдоль волоков запас подстилки в 1,5 раза меньше, чем на пасаеках, из-за того, что часть ее с волоков при трелевке удаляется. Одновременно запас хвои и мелких веточек (с диаметром до 0,7 см) на трелевочных волоках и вдоль волоков почти в 5 раз выше, чем на пасаеках. Большие запасы проводников горения обуславливают высокую природную пожарную опасность территории. Для снижения запасов лесных горючих материалов использовались разработанные технологии выжиганий.

5.3. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЖИГАНИЯ

Выжигания на вырубках проводились двумя методами:

- 1) методом сплошного пала – на вырубках, где порубочные остатки были относительно равномерно распределены по площади;
- 2) методом поэтапного выжигания – на вырубках, где большая часть крупных порубочных остатков была собрана в кучи.

Для противопожарной подготовки вырубок к выжиганиям использовали бульдозер. Выжигания проводились в определенных пределах метеоусловий: класс пожарной опасности – III, температура воздуха – 20 – 25°C, относительная влажность воздуха – 30–40 %, скорость ветра – до 2 м/мин.

Высота пламени и другие параметры горения (табл. 24) определяют уровень контроля над горением и потребность в рабочей силе и технике. При выжиганиях они зависят от многих факторов: метеоусловий, влагосодержания и запаса различных видов ЛГМ и др.

Таблица 24

Параметры горения при выжиганиях

Элемент вырубки	Высота пламени, м	Скорость распространения пламени, м/мин	Ширина кромки горения, м
Пасека	0,2	0,13	0,35
Вдоль волоков	0,6	0,25	0,50

5.4. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГОРЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ

Основной задачей проведения предписанных выжиганий является снижение запасов порубочных остатков и проводников горения на вырубках (рис. 28).

Установлено, что полнота сгорания лесных горючих материалов в среднем составила 44 % – на пасеке и 48 % – вдоль волоков (табл. 24).

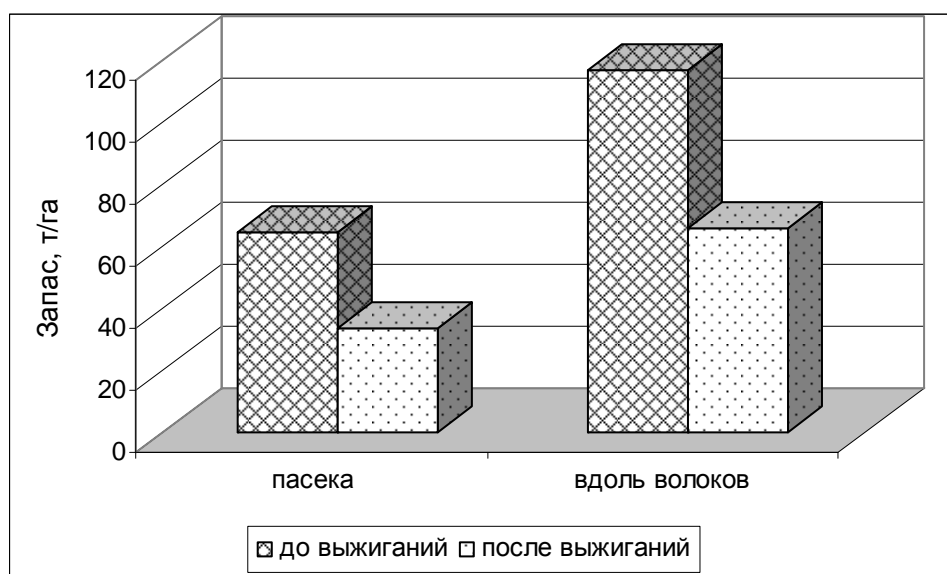


Рис. 28. Запасы лесных горючих материалов на вырубках.

Полнота сгорания мелких порубочных остатков ($D \leq 2,5$ см) составила более 60%, средних и крупных – 26-46%. Доля площади, пройденной огнем, составила около 90 % (табл. 25).

Таблица 25

Полнота сгорания порубочных остатков

Элемент лесосеки	Полнота сгорания порубочных остатков, %			Общая полнота сгорания, %
	Размерные классы, D, см			
	0,7-2,5	2,5-7,5	более 7,5	
Пасака	63	46	39	42
Вдоль волоков	85	33	26	36

После выжиганий запас лесных горючих материалов находится около нижнего значения, при котором возможно распространение горения по площади ($200\text{--}300 \text{ г/м}^2$). Иными словами, контролируемые выжигания на вырубках позволяют снизить их природную пожарную опасность.

Известно, что толстый слой подстилки и опада препятствует как семенному лесовосстановлению, так и приживаемости высаженных сеянцев и саженцев. Лишь при толщине слоя подстилки и опада менее 3 см создаются

благоприятные условия для лесовосстановления (Санников, 1978; Мелехов, 1983; Mälkonen, Levula, 1996).

Исследованиями установлено, что на сплошных вырубках в светлохвойных лесах слой подстилки и опада на пасеке находится в пределах 4 – 12 см, вдоль волоков 5 – 29 см. Полнота сгорания этого слоя при контролируемых выжиганиях составила около 60 % (рис. 29). После выжиганий доля участков, подготовленных под лесовосстановление (с толщиной слоя подстилки и опада до 3 см), составила на пасеке – около 80 %, вдоль волоков – около 40 %.

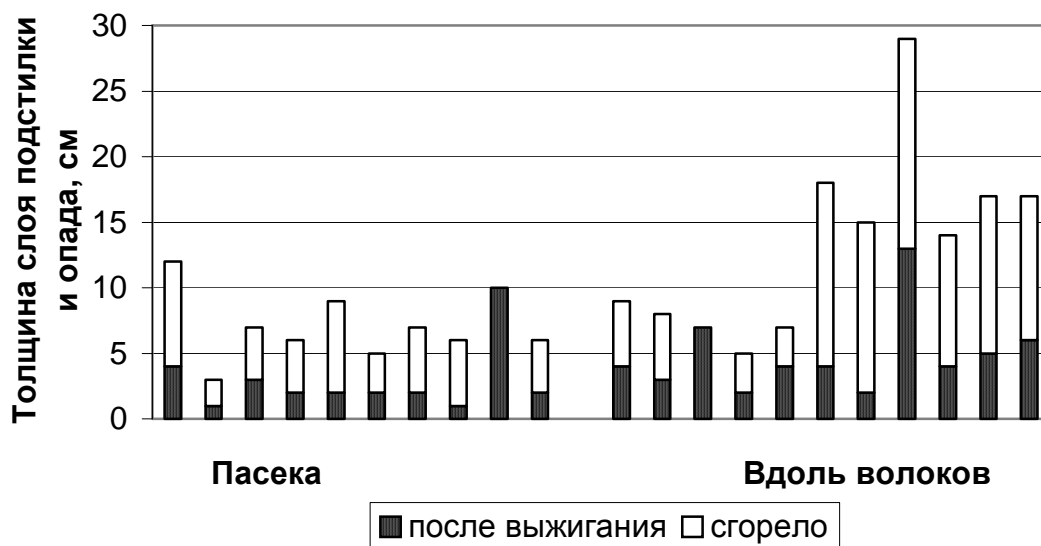


Рис. 29. Изменение толщины слоя подстилки и опада после выжиганий.

Полнота сгорания и возможность контроля огня определяются интенсивностью горения, которая, в свою очередь, зависит как от метеоусловий, так и от технологий проведения выжиганий. При этом следует помнить, что каждый тип вырубки имеет свои особенности.

Так, светлохвойные насаждения, особенно разреженные и с примесью лиственных пород, относящиеся к зеленомошной группе типов леса, являются пожароопасными только в весенний период. После рубки леса

смена видов доминантов в живом напочвенном покрове проявляется лишь спустя 2-3 года. Выжигания в таких типах вырубок летом осложнены, поскольку большая масса вегетирующих трав сильно снижает интенсивность горения и тем самым – полноту сгорания ЛГМ. Следовательно, выжигания на таких рубках необходимо проводить при высоком классе пожарной опасности.

Иначе дело обстоит в лиственничных типах соснового леса, где почвы, как правило, сухие песчаные. Горение на свежих рубках здесь возможно уже при комплексном показателе засухи 300 ед., то есть даже при I классе пожарной опасности по условиям погоды. Запас ЛГМ класса “задерживающих горение” на свежих рубках мал. Следовательно, выжигания на таких рубках можно проводить при низких (II и III) классах пожарной опасности. Полнота сгорания подстилки и порубочных остатков на таких рубках приемлема даже при проведении выжиганий с низкой интенсивностью горения.

Результаты работ послужили основанием для предварительных рекомендаций по проведению контролируемых выжиганий. Так, вследствие мощного развития живого напочвенного покрова выжигание на рубках в светлых лесах необходимо проводить, создавая большее число очагов горения. При линейном зажигании расстояние между линиями должно быть в пределах 5–10 м (меньше, чем в темных лесах), а при точечном – расстояние между соседними точками зажигания – не более 5 м. Наиболее приемлемым является комбинированный способ зажигания.

Светлые насаждения более адаптированы к пожарам, чем темные. При этом выгоревшие участки заселяются активнее. Составляющие их породы менее требовательны к условиям местопроизрастания и страдают, как правило, лишь от недостатка освещения. Следовательно, при планировании и проведении выжиганий на рубках в светлых лесах в первую очередь необходимо предвидеть направление

развития после выжиганий типа вырубki, который определяет условия освещенности молодых деревьев в первые годы их жизни.

С учетом этих особенностей были разработаны рекомендации по оптимальным метеоусловиям при проведении выжиганий на вырубках в сосняках Нижнего Приангарья (Табл. 26).

Таблица 26

Оптимальные условия для проведения предписанных
выжиганий на вырубках в сосновых лесах Нижнего Приангарья

Период пожароопасного сезона	Типы вырубок	Класс пожарной опасности	Комплексный показатель пожарной опасности, ед.	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с
III декада мая – I декада июня	зеленомошно- разнотравная	III	900-1800	< 60	< 3
	бруснично- разнотравная	II - III	900-1800		< 2
II декада июня – I декада июля	бруснично- зеленомошная	III - IV	900-3000	< 40	< 3
	бруснично- разнотравная	II - III	600-1800		< 3
II – III декады июля – I декада августа	зеленомошная	III - IV	1100-4000	< 30	< 5
	лишайниковая	II - III	600-2000		< 4
II – III декады августа- I декада сентября	зеленомошная	III - IV	1100-4000	< 30	< 5
	лишайниковая	II - III	600-3000		< 4

Проведенные исследования позволяют сделать предварительный вывод о том, что предписанные выжигания являются приемлемым эффективным и экономичным способом очистки сплошных вырубок от порубочных остатков в сосновых лесах Приангарья. Проведение выжиганий позволяет снизить природную пожарную опасность и направить развитие вырубки по кипрейно-паловому типу, что ускоряет процесс лесовосстановления хозяйственно-ценными породами.

Глава 6. ПРЕДПИСАННЫЕ ВЫЖИГАНИЯ В ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ, ДЕФОЛИИРОВАННЫХ СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ

В России, по оценке некоторых исследователей, только за прошедшие 100 лет в результате повреждений сибирским шелкопрядом *Dendrolimus superans sibiricus* Tschetw. (*Lepidoptera: Lasiocampidae*) погибли от Урала до Тихого океана хвойные леса на площади около 13 млн. га (Куликов, 1971). В южной тайге наиболее пострадали не только спелые смешанные древостои ели (*Picea obovata* Ledeb.), пихты (*Abies sibirica* Ledeb.), кедра (*Pinus sibirica* Du Tour), но и их подрост. Севернее пострадали светлохвойные насаждения лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Восстановление насаждений, близких по составу к исходным, по самым оптимистическим оценкам, затягивается на 150–200 лет.

Массовая гибель темнохвойных лесов после дефолиации сибирским шелкопрядом происходила в 1909, 1914-1917, 1920-1924, 1942-1946 гг. (Фуряев, 1966). Самая крупная вспышка массового размножения и повреждение лесов на громадной площади произошло в Западной Сибири в 1952-1956 гг. После потери хвои деревья ослабевают. На них поселяется комплекс насекомых-ксилофагов, разрушающих древесину. Засохшие деревья теряют устойчивость, их рубка опасна.

В связи с этим Министерством лесного хозяйства СССР было рекомендовано возникающие в поврежденных лесах пожары не гасить и дополнительно проводить предписанные выжигания. Технология выжигания была проста. После пуска огня пожар распространялся бесконтрольно по всему массиву усохшего леса. После первого выжигания сгорали упавшие и частично – сухостойные деревья. Спустя 3-4 года, запасы горючих материалов увеличивались за счет травяной растительности, вываленных подгоревших деревьев и их частей, пожары неоднократно повторялись (Фуряев, 1966). Этому способствовали пчеловоды, которые были заинтересованы в создании площадей, покрытых Иван-чаем (кипреем),

основным медоносом, который обильно растет на гарях в течение 4-5 лет. Далее эти площади снова выжигали, что существенно ускоряло очистку этих территорий от усохших лесов. Такой процесс очистки занимал 20-30 лет, после чего здесь начинали возникать лиственные леса. Задачей лесоводов является поиск путей существенного сокращения сроков лесовосстановления «шелкопрядников» хвойными породами.

6.1. ПОЖАРООПАСНОСТЬ «ШЕЛКОПРЯДНИКОВ»

Насаждения, поврежденные энтомовредителями, становятся пожароопасными и теряющими продуктивность (McRae, 1986). После дефолиации увеличивается количество света, достигающее поверхности почвы, что способствует росту определенных видов травянистых растений. В полностью усохших лесах запас зеленой массы в 2-2,5 раза больше, чем в частично поврежденных. Это увеличение происходит, прежде всего, за счет злаковых видов трав. Не успевая разлагаться за один год, они накапливаются и создают слой опада толщиной до 20 см. Ветошь злаковых трав является наиболее пожароопасным видом лесных горючих материалов. Ее запасы способствуют тому, что состояния «пожарной зрелости» поврежденные участки леса – «шелкопрядники» – достигают уже при II классе пожарной опасности. В этих участках запасы лесных горючих материалов постоянно увеличиваются также за счет опада мелких веточек, сучьев и вывала сухостоя. Пожары могут возникать в течение всего пожароопасного периода (Фуряев, 1966; Stocks, 1987).

Наращение запасов различных видов лесных горючих материалов, как проводников горения, так и задерживающих горение, достигает максимальных величин в полностью усохших насаждениях (табл. 27). Если запас в древостое до вспышки составлял 200–220 м³/га, запас сухостоя находится в пределах 150-180 м³/га. Это объясняется тем, что часть вывалившегося сухостоя увеличивает запасы комплекса наземных лесных

горючих материалов. При высокой интенсивности горения гасить эти пожары чрезвычайно сложно, даже с применением тяжелой техники. Они беспрепятственно распространяются на окружающие древостой.

Таблица 27

Динамика запасов ЛГМ в зависимости от степени повреждения
древостоя

Степень повреж- дения древос- тоя, %	Запас сухо- стоя, м³/га	Подс- тилка, т/га	Мхи, т/га	Травы и кустарнич- ки, т/га	Запас отмерших ЛГМ, т/га				Общий запас наземных ЛГМ, т/га
					Диаметр, D, см				
					< 0,7	0,7– 2,5	2,5– 7,5	>7,5	
0	0	3,4	3,6	0,5	2,2	2,4	6,5	28,7	47,3
0-25	30	3,5	2,9	0,6	2,8	3,1	8,2	35,4	56,5
25-50	80	4,2	3,2	0,8	4,3	3,8	11,3	39,2	66,8
50-75	120	4,8	3,1	1,0	5,8	6,0	12,6	40,6	73,9
75-100	170	6	3,1	1	6,6	7,3	14,1	46,8	84,9

Резкое увеличение горимости лесов на территории бывшего Усольского лесхоза за счет «шелкопрядников» произошло с 1999 года. Это объясняется тем, что спустя пять лет после вспышки массового размножения сибирского шелкопряда запас наземных горючих материалов увеличился за счет отмершей хвои, мелких веточек, травяной ветоши и вываленного сухостоя. Средняя площадь пожаров за эти годы увеличилась в 27 раз (со 150 в предыдущие пять лет до 5000 га в год), хотя число пожаров увеличилось только в 1,7 раза (Валендик и др., 2004) (табл. 28).

Число и площади пожаров в бывшем Усольском лесхозе до и после вспышки массового размножения сибирского шелкопряда

Период	Среднее число пожаров, шт/год	Средняя выгоревшая площадь, га/год
До вспышки (1995–1998 гг.)	23,5	174
После вспышки (1999–2003 гг.)	40,8	4778

Снижение пожарной опасности и лесовосстановление связаны, прежде всего, с очисткой территории от сухостоя и больших запасов наземных горючих материалов. Наиболее эффективным и экономически целесообразным средством ликвидации «шелкопрядников», казалось бы, является сгорание их при естественных пожарах. Однако, не все так просто. Природа естественных пожаров и случайный характер их возникновения не позволяют достичь лесоводственных целей. Наши наблюдения показывают, что сухостой не сгорает, стволы лишь обугливаются при умеренных погодных условиях.

Разрастание злаковых трав (главных задернителей почвы) является одной из основных причин задержки естественного лесовосстановления хвойных древостоев. Сильное задернение почвы препятствует развитию самосева. Лесокультурные работы здесь также невозможны из-за большой захламленности поверхности почвы и наличия сухостоя, вырубка которого по техническим и экономическим причинам невыполнима.

6.2. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА

Темнохвойные леса в Нижнем Приангарье не имеют столь широкого распространения, как сосновые, и занимают хорошо увлажненные

пространства. Среди них господствуют пихтовые леса (рис. 30а). Для них характерна устойчивая полидоминантность и разновозрастность древостоев.

Среди пихтовой формации наиболее часто встречаются березово- и елово-пихтовые насаждения с хорошо развитым покровом из *Carex macroura* Meinsh., создающей в спелых и перестойных древостоях значительное задернение. Почвы под такими лесами преимущественно дерново-подзолистые различной степени оподзоленности. Даже не тронутые рубкой и пожаром, эти леса в составе древостоя имеют небольшую, но постоянную примесь ели, кедра, березы, осины, реже – сосны и лиственницы. Древостои – разновозрастные, преобладают деревья VI - VII классов возраста. Запас колеблется от 150 до 300 м³/га. Кустарниковый ярус – редкий, составлен единичными кустами *Daphne mezereum* L. *Sorbus sibirica* (Hedl.), *Rosa acicularis* Lindl., а иногда *Sorbaria sorbifolia* Sem.

Моховой покров хорошо развит в приспевающих насаждениях. Чаше мхи имеют куртинное размещение и приурочены к крупному валежу. Степень проективного покрытия мхами колеблется от 20 до 90%. Господствует *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G., к которому в зависимости от характера нано- и микрорельефа примешиваются *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst., *Ptilium crista castrensis* (Hedw.) De Not., *Pleurozium schreberi* (Brid) Mitt., *Dicranum scorapium* Hedw, *Mnium cuspidatum* Hedw. и др. Среди елово- или березово-пихтовых лесов можно встретить высокопродуктивные (до 500 м³/га) разнотравно-осочковые пихтово-лиственничные леса. В травяном покрове этих лесов (в отличие от других типов) присутствует значительная группа видов, свойственных светлохвойным травяным лесам (Лашинский, 1969). Пожары в этих лесах возникают только при высоком классе пожарной опасности.



а)



б)

Рис. 30. а) Пихтарник разнотравно-зеленомошный б) пихтарник, поврежденный сибирским шелкопрядом.

В период вспышки сибирского шелкопряда в середине 1990-х гг. темнохвойные насаждения (рис. 30б) в Ангара-Енисейском регионе были повреждены на площади около 480 тыс. га (Гродницкий и др., 2001). При этом на площади 50 тыс. га древостои были повреждены в сильной степени (50–75 %), а на 240 тыс. га погибли. Для примера, площадь, подверженная воздействию шелкопряда в бывшем Усольском лесхозе, равнялась 170 тыс. га (более 22% территории лесхоза), на 70 тыс. га леса были повреждены на 75% и более (Ведомости, 1996). Вследствие последующего заселения деревьев насекомыми-ксилофагами площадь поврежденных лесов удвоилась (Гродницкий и др., 2001).

6.3. ЗАПАСЫ ЛГМ В «ШЕЛКОПРЯДНИКЕ»

Экспериментальный участок для оценки ЛГМ в шелкопряднике представлен пихтарником хвощево-крупнотравным. В составе древостоя присутствуют береза (10%) и единично – ель и кедр. Высота пихтового древостоя составляла 20 м, средний диаметр – 16 см, относительная полнота – 0,9. Усохшие деревья сохранились на корню с запасом 130-180 м³/га, захламленность валежом при этом составляет 40-60 м³/га (табл. 29).

Запас напочвенных горючих материалов (опад, подстилка, травы и кустарнички, валеж и приземленный древесный материал), его структура и распределение на экспериментальном участке и на окружающем участке без приземления сухостоя оценивались до и после приземления сухостоя. Сбор образцов на этих участках проводился вдоль сторон равностороннего треугольника длиной 15 м (McRae et al. 1979). Вершины треугольника отмечались железными штырями для выполнения инвентаризации также после выжигания. Запас валежа и упавшего сухостоя оценивался с помощью методики линейного пересечения (Van Wagner, 1968; McRae, 1979; McRae et.al. 1979, Brown et.al., 1981). Все лежащие древесные горючие материалы

были подсчитаны по размерным классам, по диаметру (< 0,7 см, 0,7-2,5 см, 2,5-7,5 см), вдоль сторон треугольного участка. Диаметры больших размеров были измерены с отметкой состояния древесины. Запасы древесных отмерших материалов были рассчитаны существующими методами (Brown, 1974). Хвойный подрост под пологом леса отсутствовал. Запасы горючих материалов в кронах деревьев не были измерены.

Образцы опада и подстилки брались с площадок размером 20 x 25 см, расположенных на расстоянии 1 м по обе стороны перпендикулярно каждой стороне треугольника на отметках 5 и 10 м от вершин (всего 12 площадок). При взятии образцов мха использовалась эта же методика. Образцы для определения запаса трав брались на площадках размером 50 x 50 см рядом с площадками для определения запаса опада и мхов (Валендик и др., 2000; 2001). Для определения глубины прогорания слоя ЛГМ были установлены штыри на расстоянии 1 м от вершин треугольника и рядом с местами взятия образцов ЛГМ для определения их запаса. В табл. 28 приведены запасы ЛГМ до и после вывала мертвых деревьев в пихтарнике, поврежденном сибирским шелкопрядом.

Таблица 29

Запас лесных горючих материалов в «шелкопряднике» до и после вывала сухостоя

Состояние участков	Сухо- стой, м³/га	Подс- тилка, т/га	Мхи, т/га	Травы и кустар- нички, т/га	Валеж и сучья, т/га				Всего наземных ЛГМ, т/га
					Диаметр, см				
					< 0,7	0,7– 2,5	2,5– 7,5	>7,5	
до вывала	180	6	3,1	1	6,6	7,3	14,1	46,8	84,9
после вывала	70	6,1	3,2	1,1	8,2	14,2	23,5	96	152,3

На участках с усыханием деревьев на 75 % и более обильно разрослась

куртинами малина, а также подлесок с доминированием рябины с небольшой примесью бузины красной, спиреи, рябинолистника и смородины красной. Средняя толщина слоя опада 5–10 см, подстилки – 5 см. В напочвенном покрове преобладают осока большехвостая и вейник тупоколосковый с примесью горошка непарного, кипрея узколистного, хвоща лесного и подмаренника настоящего. Высота травостоя – 40 см.

На рис. 31 приведено распределение по классам диаметра упавших древесных ЛГМ, также до и после вывала сухостоя. Наибольшие запасы приходятся на стволы.

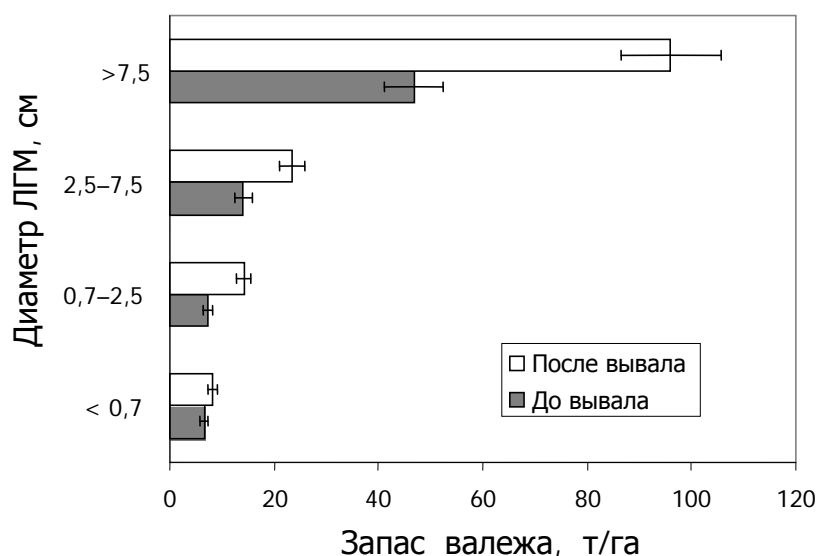


Рис. 31. Запас валежа в «шелкопряднике».

6.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ УЧАСТКОВ К ВЫЖИГАНИЮ

В конце августа – начале сентября 2001 г. был подготовлен участок размером 200 х 300 м для выжигания, расположенный на периферии поврежденного шелкопрядом насаждения. Для подготовки минерализованных полос был использован лесопожарный агрегат АПЛ-55

конструкции ВНИИПОМлесхоза (Харинский и др., 1991) со специальным клином шириной 3 м.

С южной стороны (протяженность 300 м), участок примыкал к гравийной дороге шириной 10 м. Западная и восточная стороны длиной по 200 м, и северная сторона длиной 300 м, были отграничены минерализованной полосой шириной 6 м. Сухостой на экспериментальном участке был повален лесопожарным агрегатом при движении через весь участок «челночным» способом через 15-20 м. При этом часть сухих деревьев падает на полосу, а другая - на сухостой. Это увеличивает запасы валежника на 50-60 %, а ЛГМ с диаметром более 7,5 см – на 83 %.

В полосе шириной 20-30 м вдоль минерализованной полосы были свалены все стоящие деревья для предотвращения их падения во время горения и перехода по ним огня за пределы участка.

С подветренной стороны пожара на расстоянии 50, 100 и 150 м были проложены минерализованные полосы для предотвращения распространения очагов горения из-за переброса горящих частиц конвективной колонкой.

Вывал сухостоя и прокладка защитной минерализованной полосы по периметру «шелкопрядника» проводились в конце августа – начале сентября. В этот период грунт достаточно плотный для работы тяжелого (30 тонн) агрегата. Оставшийся сухостой в осенне-зимний период частично вываливается ветром, еще больше увеличивая запасы валежника.

6.5. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЖИГАНИЯ

Технология предписанного выжигания предусматривает меры по предупреждению выхода огня за намеченные границы, соответствующие способы его пуска и окарауливание пожарища. Выжигание было проведено 20 июня 2002 г. Параметры погодных условий перед выжиганием были следующие: температура воздуха – 18°C, относительная влажность воздуха –

40%, скорость северо-восточного ветра на высоте 2 м – 0-2 м/с. Комплексный показатель засухи равнялся 1900 ед. и соответствовал высокому (IV) классу пожарной опасности. Время зажигания – 20:00.

Для безопасного проведения выжигания была важна последовательность зажигания. Начальное зажигание было проведено в северо-восточном углу участка ручными зажигательными аппаратами, и затем – вдоль минерализованной полосы северной стороны участка. Далее зажигание было продолжено вдоль восточной стороны участка. После того, как кромка огня продвинулась от минерализованных полос на расстояние 20-30 м, было проведено зажигание в центре участка. В последующем, по мере продвижения огня к западной и южной сторонам участка, зажигание было проведено вдоль этих сторон. По мере увеличения интенсивности горения была образована конвективная колонка в центре участка. При интенсивном горении в центре участка (рис. 32) (высота пламени до 5 м) воспламенялись сухостойные деревья, образовывалась сильная тяга к центру участка, снижая вероятность пятнистых загораний за пределами выжигаемого участка. При скорости ветра на высоте 2 м, равном 4 м/с, конвективная колонка наклонилась под углом 40-50° и от горящих головешек произошли пятнистые загорания на расстоянии до 500 м к юго-западу от участка. Для их ликвидации понадобились дополнительные усилия.

6.6. ЗАПАСЫ ЛГМ ПОСЛЕ ВЫЖИГАНИЙ

Определение запасов напочвенных ЛГМ до и после выжиганий позволило установить количество сгоревших ЛГМ. По штырям, фиксирующим глубину прогорания, определялась толщина сгорающих ЛГМ. После выжигания и сушки образцов в сушильных шкафах, определялся запас ЛГМ, оставшихся на участках после выжигания.

В мае 2002 г. рядом с экспериментальным участком возник естественный пожар при III классе пожарной опасности и комплексном

показателе засухи, равном 1500 ед. По аналогичной методике был определен запас ЛГМ после естественного пожара.

Слабое горение сухостоя при естественном пожаре можно объяснить высоким влагосодержанием древесины. Послойный анализ показал значительное различие влагосодержания у стоящих и поваленных деревьев, и возрастающее по направлению к сердцевине (рис 33).



Рис. 32. Высокоинтенсивное горение при выжигании в «шелкопряднике».

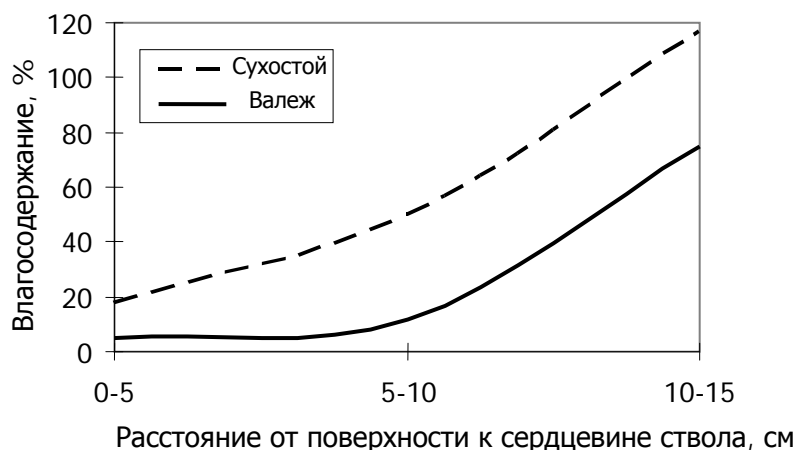


Рис. 33. Влажность древесины на различных расстояниях до сердцевины.

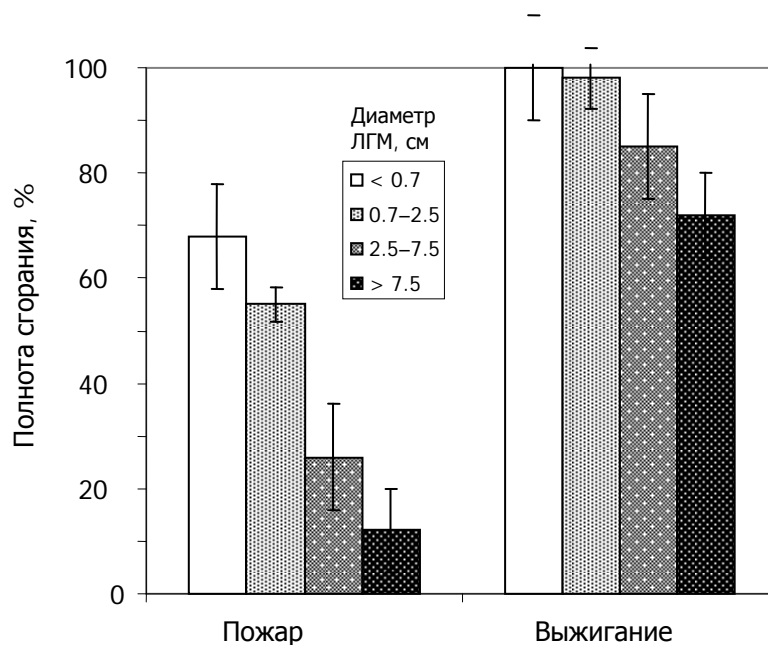
В каждом слое влажность древесины стоящих сухих деревьев было в 2-3 раза выше, чем у поваленных, но не соприкасающихся с землей. Поэтому приземление сухостоя перед выжиганием увеличило бы сгорание древесного горючего материала. Максимальное сгорание древесины обеспечивало бы приземление всего сухостоя, но это привело бы к увеличению затрат на выжигание.

В среднем, сгорание сухого древесного горючего материала было на 70% выше на участке с выжиганием, чем при естественном пожаре. Горючий материал малого размера сгорел почти полностью, но при выжигании сгорело значительно большее количество ЛГМ большего размера, чем при естественном пожаре (рис. 34а).

Большее количество опада, подстилки и слоя мхов сгорело также при предписанном выжигании по сравнению с естественным пожаром, в то время как и при предписанном выжигании, и на естественном пожаре сгорание трав было эффективным (рис. 34б). Примерно 25% напочвенного покрова сгорело при естественном пожаре. Сгорание мохового покрова, хотя и было выше, но снижение его было примерно только на $\frac{2}{3}$ по сравнению с предписанным выжиганием. После естественного пожара подстилка и мхи также

препятствуют семенному лесовосстановлению, как в нетронутых «шелкопряdnиках», так и при их сгорании (Фурьев, 1966; Куликов, 1971).

а)



б)

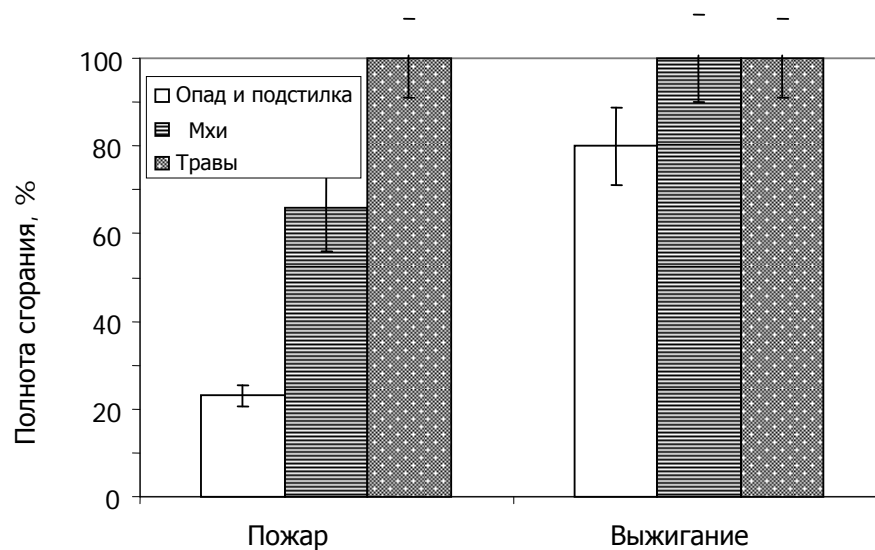


Рис. 34. Полнота сгорания ЛГМ при лесном пожаре и при выжигании
а) упавших древесных материалов и валежа б) напочвенных ЛГМ.

После контролируемого выжигания толщина подстилки составляла в среднем 1,1 см. В некоторых местах она сгорела полностью. Такая подстилка не является препятствием для прорастания семян и укоренения всходов.

Чтобы повысить очистку «шелкопрядника» от мертвой древесины, необходимо часть стоящих деревьев повалить. Это существенно повышает интенсивность их горения и полноту сгорания.

Оптимальная утилизация отмершей древесины при выжигании наблюдается при предварительном вывале около 60 % сухостоя. При этом достигается достаточная интенсивность горения и полнота сгорания древесных остатков. Это даст возможность создавать лесные культуры без дополнительной подготовки почвы. Послепожарный запас крупномерных ЛГМ в этом случае находится в пределах 30 т/га, а минимальный диаметр несгоревших частиц – 7 см. Такой вывал сухостоя достигается при расстоянии между проходами 10-15 м. Максимальная полнота сгорания древесных остатков возможна при полном вывале сухостоя, что требует увеличения затрат.

Интенсивное горение в «шелкопряднике» не нарушает агрохимические свойства почвы. Температура почвы на глубине 2 см в минеральном слое иногда может достигать 60°C. Однако максимальные температуры почвы на участках с высокой интенсивностью горения не превышают 50°C (рис. 35).

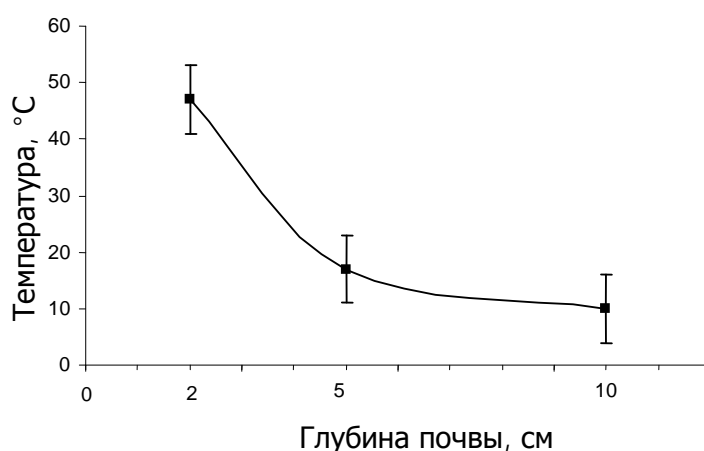


Рис. 35. Температура почвы при выжигании.

Из этого следует вывод, что даже высокоинтенсивное горение на таких участках не вызывает значительных термических изменений почвы; прогрев ее верхних горизонтов позволяет уничтожить корневища вейника, и «направляет» зарастание по кипрейно-паловому типу. Условия для лесовозобновления на участках, заросших кипреем, более благоприятны, так как, благодаря своей стержневой корневой системе, он не создает задернения почвы. При этом кипрей, как известно, не является серьезным конкурентом молодым древесным растениям, и под его пологом хорошо растут и развиваются породы темнохвойных лесов (Иванова, Перевозникова, 1994).

При вывале древостоя менее 70 % полнота сгорания крупномерных древесных остатков недостаточна. Так, при расстоянии между центрами прохода АПЛ-55 25–30 м, доля поваленных деревьев составляет около 40 %, а полнота сгорания крупномерных древесных остатков не превышает 25–30 %. Такая степень очистки «шелкопрядника» недостаточна для создания лесных культур и требует дополнительной механизированной подготовки почвы. Важно отметить, что оставшиеся стоящие деревья из-за подгорания комлевой части сваливаются в течение первых дней после выжигания. Это значительно увеличивает захламленность территории и препятствует проведению лесовосстановительных работ.

Спустя два месяца после выжигания «шелкопрядников» отмечены изменения свойств верхних горизонтов почвы (Краснощеков и др. 2007). Потеря углерода из лесной подстилки составила 7,7%, азота – 49,6%. Большое содержание золы привело к снижению актуальной кислотности и увеличению концентрации в горизонте зольных элементов. К положительному влиянию выжиганий на почвы «шелкопрядников» можно отнести увеличение как валовых, так и подвижных соединений фосфора и калия в поверхностных горизонтах. Выжигание «шелкопрядника» привело к увеличению валового калия в 3,2, а подвижного – в 4,3 раза. Подобная тенденция относится и к фосфору. Увеличение соединений калия и фосфора создает благоприятные условия для возобновления и роста хвойных пород в

первые 2 года после пожара. Дерново–глубокоподзолистые почвы после воздействия шелкопряда и последующего огня сохраняют уровень биологической активности, позволяющий быстро восстанавливать исходные свойства.

Экспериментальные исследования показали, что выжигания являются наиболее эффективным способом очистки «шелкопрядников» от мертвых деревьев и другой органики, с целью быстрого лесовосстановления коренных древостоев.

Глава 7. ВЫЖИГАНИЯ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ

7.1. ВЫЖИГАНИЯ В СОСНЯКАХ В ЗОНЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Пожары, возникающие в лесах вблизи населенных пунктов, таят в себе огромную опасность. В огне гибнут люди, уничтожаются дома и населенные пункты. Такие катастрофы происходят не только в Евразии, но и на других лесных территориях планеты. Примером могут служить катастрофические лесные пожары¹ в России (табл. 30). В этих лесах древостои имеют трехъярусную структуру. Накапливается большое количество лесных горючих материалов, что способствует развитию высокоинтенсивных низовых пожаров. Подрост и низкоопущенные кроны деревьев представляют собой ступеньки для перехода низового пожара в верховой. Перед фронтом верхового пожара летят горящие угли, которые зажигают деревянные строения, непосредственно примыкающие к лесу. Горящие угли и тлеющие куски коры и древесины переносятся ветром на расстояние до 500 м. Просеки и противопожарные разрывы не являются препятствием для верховых пожаров. Они только усиливают скорость ветра в приземном слое и усложняют тушение из-за сильного задымления у поверхности земли (Валендик и др. 1979).

В зоне населенных пунктов одновременно действуют два вида пожара – горение леса и строений. Тушить пожары на стыке леса и населенного пункта очень сложно, так как при этом используются совершенно различные методы, способы и технические средства. Кроме того, соответствующие пожарные службы имеют разную техническую подготовку и не могут заменять друг друга. Все это усложняет охрану лесов и борьбу с пожарами в припоселковых лесах. Задачей наших исследований было изучение

¹ Катастрофические лесные пожары – это пожары, которые наносят значительное негативное влияние на устойчивость лесных экосистем, уничтожают человеческие ценности и имущество (GFMC, 2010).

Таблица 30

Последствия катастрофических лесных пожаров в России

Дата пожара, год	Место пожара	Уничтоженные поселки и строения, шт		Число		Источники информации
		жилые	хозяйственные	пострадавших, чел.	погибших, чел.	
1921	Марийская АССР	60 селений	Скотный двор (1000 голов скота)	–	35	Валендик и др., 1979
Август 1972	Московская, Костромская, Владимирская, Горьковская области, Марийская АССР	2 поселка, 100 домов, одна железнодорожная станция	5 пионерских лагерей, торфоперерабатывающее предприятие	120	–	Валендик и др., 1979
Май 1996	Иркутская область	69 домов	77 строений, 35 км ЛЭП, 27 км линий связи, 2 нижних склада, клуб, коровник, склад	35	6	Проблемы, 1996
Май 1996	Бурятия	2 поселка, 21 дом	–	–	10	Проблемы, 1996
Май 1996	Марий Эл	26 домов	–	79	–	Проблемы, 1996
23.05.1996	Тыва	–	–	7	6	Проблемы, 1996
1998	Хабаровский край	6 поселков	–	–	–	Stelmachovich, 1998
1998	Сахалинская область	6 поселков, 80 домов	–	683	3	Stelmachovich, 1998
Июль 2010	Воронежская, Рязанская, Владимирская, Ивановская, Московская, Нижегородская области, Республики Мордовия, Татарстан	77 поселков, 1257 домовладений	–	1882	48	www.wood.ru

также динамики горимости в таких лесах на примере Красноярской лесостепи, оценка их природной и текущей пожарной опасности и разработка технологии выжиганий для снижения интенсивности низовых и предупреждения верховых пожаров.

7.1.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Красноярская островная лесостепь относится к подзоне южных травянистых лесов и лесостепей (Средняя Сибирь, 1964). В геолого-морфологическом отношении она представляет собой галечниковое плато, перекрытое плащом лёссовидных пород (Баженов, 1934). Мезорельеф выражен в виде песчаных дюн древнеэолового происхождения. В восточной части развит бугристо-западинный рельеф. Западная часть характеризуется увалисто-сильнорассеченным рельефом.

Почвообразующими породами являются четвертичные отложения, которые представлены супесями и суглинками с включением кварцевой гальки. Наиболее распространены дерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на супесях и легких суглинках.

В течение года Красноярская лесостепь получает 86,6 – 88,0 тыс. ккал/см² суммарной радиации (Головин, 1960). Вегетационный период в среднем составляет 144 дня, осадков – 350 – 450 мм, что достаточно для хорошего роста древесных пород.

По многолетним данным метеорологической станции Большая Мурта, средняя температура июля – 18,3°C. Среднегодовое количество осадков – 465 мм, основная часть выпадает в июле и августе (табл. 31). Малое количество осадков, низкая относительная влажность воздуха и наличие сухой травы создают в мае-июне наиболее благоприятные условия для возникновения и распространения пожаров.

Среднее многолетнее распределение осадков по месяцам, мм
(числитель) и число дней с осадками (знаменатель)

Метео- станция	Месяцы												Сред- нее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Сухобу- зимское	15/14	11/10	15/9	29/1	38/11	49/13	75/12	68/13	45/14	41/13	34/14	24/15	444/148
Большая Мурта	19/15	15/11	14/10	24/10	36/12	54/13	79/12	66/14	49/15	40/17	38/19	31/18	465/166

В Красноярской лесостепи широко распространены средневозрастные сосновые насаждения со средней полнотой 0,6. Доминируют разнотравно-брусничные, разнотравные и осочковые типы леса.

Красноярская лесостепь представляет собой восточную оконечность Западно-Сибирской низменности. Абсолютные высоты колеблются в пределах 250 – 350 м над уровнем моря.

По лесохозяйственному районированию Сибири (Смагин и др., 1978) эта территория отнесена к Красноярско-Канскому лесохозяйственному району.

Согласно лесопожарному районированию (Валендик, 1963), для Красноярского лесостепного лесопожарного района характерны три вспышки лесных пожаров: весенне-летняя, летняя и летне-осенняя. Пожароопасный период в лесостепных районах Сибири продолжается с ранней весны до поздней осени. Наиболее благоприятным периодом для возникновения пожаров в лесостепной зоне является ранняя весна и начало лета. Весенние пожары представляют собой беглые низовые пожары слабой и средней силы. Это объясняется тем, что ранней весной напочвенные горючие материалы – травяная ветошь, опад хвои, мелкие веточки и шишки – высыхают, а подстилка, крупные ветки и валеж остаются влажными.

В хвойных молодняках пожары могут переходить в верховые (Молчанов, 1940, 1957; Курбатский, Иванова, 1987).

Весенняя вспышка пожаров в лесостепи прекращается в результате разрастания травяной растительности под пологом леса. Особенности развития и распространение лесных пожаров связаны с запасами живого напочвенного покрова. Четкое отличие в пожароопасности весной и летом в насаждениях с напочвенным покровом из трав отмечалась многими исследователями (Мелехов, 1947; Ткаченко, 1952; Корчагин, 1954; Балбышев, 1963 и др.). М.А. Софронов (1967) установил, что в горах юга Сибири период весенних пожаров заканчивается, когда запас травостоя достигает от 1/2 до 2/3 своей максимальной величины.

Для сосновых древостоев беглые низовые пожары слабой и даже средней силы не всегда губительны. С одной стороны, ранней весной камбий находится еще в состоянии покоя и относительно устойчив к тепловой нагрузке, и с другой – при беглом пожаре продолжительность прогрева небольшая и нагревание камбия не достигает летальных величин (Гирс, 1982). Более опасны для сосновых древостоев пожары в конце мая – начале июня. В этот период деревья уже вегетируют, подстилка высыхает, а травяная растительность не успевает достаточно отрасти. В этих условиях пожары часто бывают устойчивыми и вероятность гибели сосняков первого и второго классов возраста очень велика (Валендик, Сухинин, Косов, 2006).

В период вегетации деревьев их устойчивость к воздействию огня понижена (Гирс, 1982). В то же время летом могут возникать устойчивые низовые пожары, часто переходящие в верховые и почвенные.

Осенью пожарная опасность в лесах снижается из-за частых осадков, понижения температуры воздуха, возникновения туманов и выпадения рос. В этот период возникают пожары низкой интенсивности, а деревья, находящиеся в фазе подготовки к зимнему покою, более устойчивы и опасность летального повреждения их невелика (Курбатский, 1962; Гирс, 1982).

7.1.2. ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ

Высокая частота пожаров отмечена в сосновых лесах центральной части лесостепи. Здесь развита дорожная сеть, места рекреации для туристов и местного населения, а также многочисленные сельскохозяйственные угодья, в которых очистка от стерни осуществляется огневым методом. От бесконтрольных сельхозпалов происходит до 70% всех пожаров.

Наибольшее число пожаров возникает в апреле – июне (рис. 36). Этому способствует наличие под пологом леса большого количества сухой травы предыдущего года. В июле – августе пожаров значительно меньше, в связи с развитием живого напочвенного покрова, препятствующего возникновению и развитию лесных пожаров. В осенний период (сентябрь - октябрь) число лесных пожаров минимально.

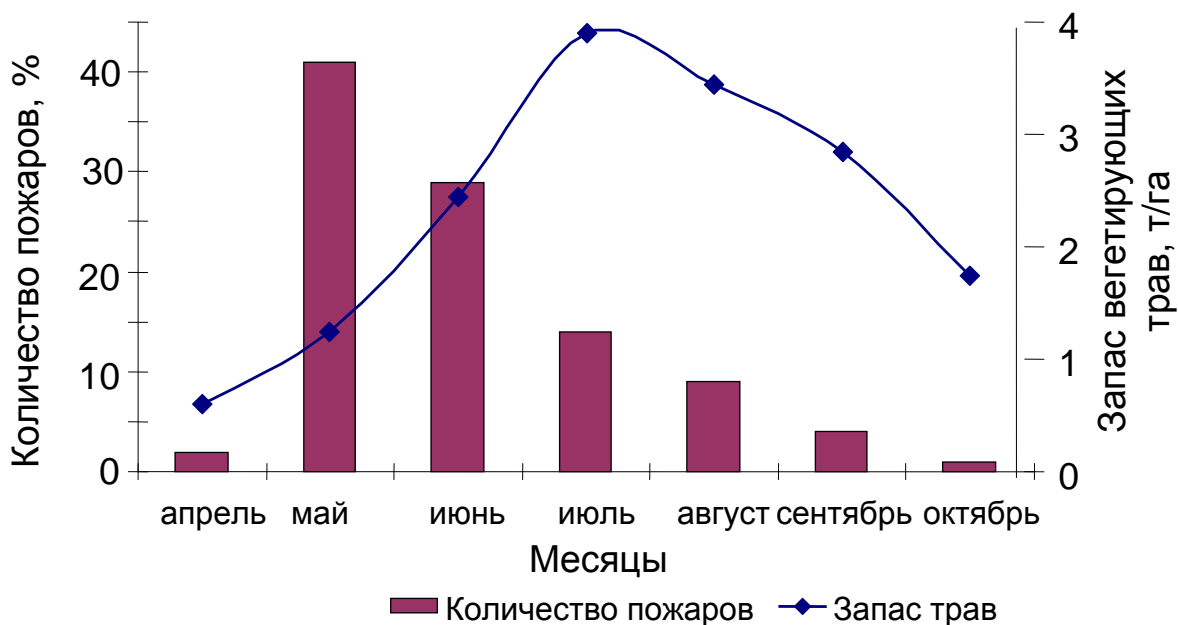


Рис. 36. Запас вегетирующих трав и сезонная динамика лесных пожаров.

Максимальное число пожаров возникает в рекреационных зонах на удалении 5-15 км от населенных пунктов (рис. 37). Изменение числа пожаров

в разные годы обусловлено погодными условиями. Основное количество пожаров происходит в пределах 18 км от населенных пунктов.



Рис. 37. Распределение лесных пожаров в зависимости от удаленности от населенных пунктов.

Леса, находящиеся в непосредственной близости от поселков, были отнесены к лесам I группы (особой категории защитности), в связи с чем они тщательно охранялись от пожаров. Возникающие здесь лесные пожары имеют небольшие площади. В этих лесах на протяжении последних 40-50 лет не было крупных лесных пожаров, вследствие чего накопился значительный запас напочвенных лесных горючих материалов (> 60 т/га). Это способствует развитию высокоинтенсивных пожаров.

В лесах, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов, вследствие накопления больших количеств валежа, сухостоя, бытового мусора и прочих горючих материалов, уплотнения лесной подстилки, происходит развитие злакового покрова и изменение микроклимата. Это способствует ускорению пожарного созревания ЛГМ. Эти насаждения с преобладанием хвойных пород, независимо от типа леса, обладают высокой пожарной опасностью.

Основными компонентами наземной группы лесных горючих материалов являются живой напочвенный покров и опад.

Н.П. Курбатский (1970) относит их к основным проводникам горения. При благоприятных условиях они могут гореть с выделением такого количества тепла, которого с избытком хватает для поддержания и распространения процесса горения других типов ЛГМ. Именно эта группа является первичным горючим материалом, с загорания которого начинаются почти все пожары.

Пожароопасность участка в значительной степени определяется соотношением массы вегетирующих трав и сухих проводников горения. Разрастание зеленых трав создает микроклимат с повышенной влажностью и соответственно снижает скорость пожарного созревания проводников горения (Курбатский, Иванова, 1987). Наблюдается тесная взаимосвязь между числом пожаров и запасом вегетирующих трав. Так, в лесостепных районах Красноярского края около половины лесных пожаров возникает до начала вегетации трав. Число пожаров убывает в два раза уже в начале вегетационного периода. В период же наибольшего роста трав число возникающих пожаров незначительно (15-20%).

Распределение лесных пожаров по мере их удаленности от населенных пунктов в течение пожароопасного периода также неравномерно (рис 38).

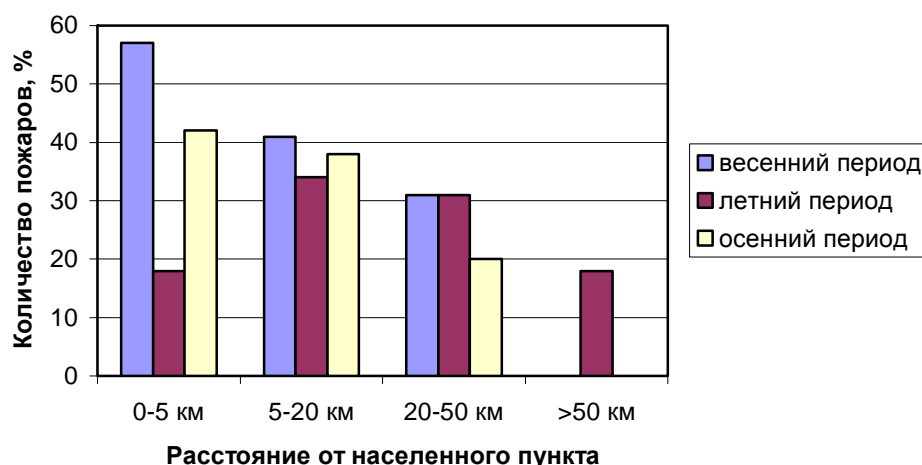


Рис. 38. Сезонное распределение лесных пожаров в зависимости от удаленности от населенного пункта.

Распределение пожаров по мере их удаленности от населенных пунктов обуславливается привлекательностью лесных участков в разное время года. Весной и осенью наиболее посещаемы населением леса, находящиеся вблизи жилья (отдых, сбор грибов). Летом же посещаются более отдаленные участки леса (сенокошение, сбор ягод). По данным Ю.А. Андреева (1999), среднее удаление рекреантов от населенных пунктов в июне составляет 12,9 км, в июле – 17,9 км, в августе – 16,2 км. По нашим данным, с этим расстоянием совпадает и максимальное число пожаров.

7.1.3. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ В ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛЕСАХ

Наиболее важными метеорологическими факторами, влияющими на формирование пожарной опасности, являются количество и частота выпадающих осадков. В прямой зависимости от них находятся влажность воздуха и влагосодержание ЛГМ. Серия из прерывистых осадков ливневого характера, от 2,5 до 8 мм каждый, более интенсивно насыщает опад и подстилку влагой, чем непрерывный слабый дождь.

В лесостепных сосняках можно выделить три пика пожарной опасности. Первый пик приходится на середину мая, затем с конца мая до третьей декады июня происходит снижение пожарной опасности. Второй пик пожарной опасности приходится на период с конца июня до второй половины июля. Третий пик наступает в конце августа - начале сентября, но в отличие от предыдущих не превышает IV класса.

Несмотря на наличие трех пиков пожарной опасности по погоде, наибольшее число пожаров возникает в весенний период.

Влагосодержание лесных горючих материалов является одним из важнейших показателей, определяющих их пожарную зрелость, то есть способность к воспламенению и независимому распространению горения, а также интенсивность процесса горения и скорость движения кромки пожара.

7.1.4. ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫЖИГАНИЯ НА ДРЕВОСТОЙ

Для формирования структуры насаждения, делающей невозможным развитие пожара в верховой, необходимо проведение рубок ухода. Для этого требуются значительные финансовые затраты. Наиболее экономичным методом снижения пожарной опасности в лесу является проведение подпологовых выжиганий. При этом сохраняется основной ярус древостоя, удаляется захламлённость, происходит обогащение почвы микроэлементами и снижается вероятность возникновения повторных пожаров. Применение профилактических палов как средства для формирования пожароустойчивых сосняков предлагалось ранее В.В. Фуряевым (1974).

Для проведения выжиганий в припоселковом бору с. Юкseeво (Большемуртинский район Красноярского края) были выделены два экспериментальных участка размером 50х50 м. (табл. 32). По их периметру были проложены защитные минерализованные полосы.

Таблица 32

Характеристика насаждений Юкseeвского бора до проведения выжиганий

№ п/п	Тип соснового леса	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота	Запас, м ³ /га	Запасы ЛГМ, кг/м ²
1	Зеленомошно-осочково-разнотравный	10С	50	12	10	1,0	141	3,24
2	Осочково-разнотравный	10С+Б	90	17	22	0,7	190	4,05

Запасы напочвенных горючих материалов на участках составляли 3,24 – 4,05 кг/м². Живой напочвенный покров на участках представлен разнотравьем, состоящим из осоки большехвостой, хвоща лесного, орляка обыкновенного, костяники каменистой, герани лесной, кровохлебки лекарственной и др.

На первом участке контролируемые выжигания проводили летом (в августе), а на втором – весной (в мае) до вегетации травянистой растительности (табл. 33).

Погодные условия и интенсивность горения на пробных площадях

№ участ-ка	Дата выжигания	Погодные условия				Интенсивность горения, кВт/м
		Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Ветер, м/с	КП ^{*)} , ед.	
1	17.08.1998	24,4	48	СВ: 0,5-1	1186	271
2	05.05.1999	20,2	45	ЮЗ: 1-2	830	387

*) – комплексный показатель пожарной опасности.

Горение было низкой интенсивности (рис. 39). Средняя интенсивность кромки горения на первом участке составила около 270 кВт/м, на втором - около 390 кВт/м. Более низкая интенсивность горения на участке № 1 объясняется значительным количеством вегетирующих трав, задерживающих распространение пламенного горения.

Запас ЛГМ на первом участке до выжигания составлял 3,24 кг/м², после выжигания он снизился до 40% и составил 1,3 кг/м² (табл. 34). Запас напочвенных горючих материалов на втором участке до выжигания составлял 4 кг/м². После выжигания он снизился до 47%, а недожог был равен 1,9 кг/м². Спустя 1 год после выжигания запас на участке № 1 составлял 2,6 кг/м², через 2 года – 3,2 кг/м². За 2 года запасы напочвенных лесных горючих материалов почти восстановились. После выжигания на участке №2 спустя 1 год запас напочвенных ЛГМ составил 2 кг/м², т.е. 50% от допожарного.

Таблица 34

Динамика запасов напочвенных горючих материалов, кг/м²

Вид горючих материалов	Участок № 1				Участок № 2		
	До выжи- гания	Сразу после выжи- гания	Спустя 1 год после выжи- гания	Спустя 2 года после выжига- ния	До выжи- гания	Сразу после выжи- гания	Спустя 1 год после выжига- ния
Зеленые травы	0,26	0,0	0,04	0,08	0,10	0,0	0,13
Мхи	0,20	0,0	0,07	0,14	-	-	-
Опад	0,78	0,0	0,58	0,65	1,84	0,0	0,86
Подстилка	2,00	1,34	1,92	2,32	2,11	1,9	1,03
Итого:	3,24	1,34	2,61	3,19	4,05	1,90	2,02

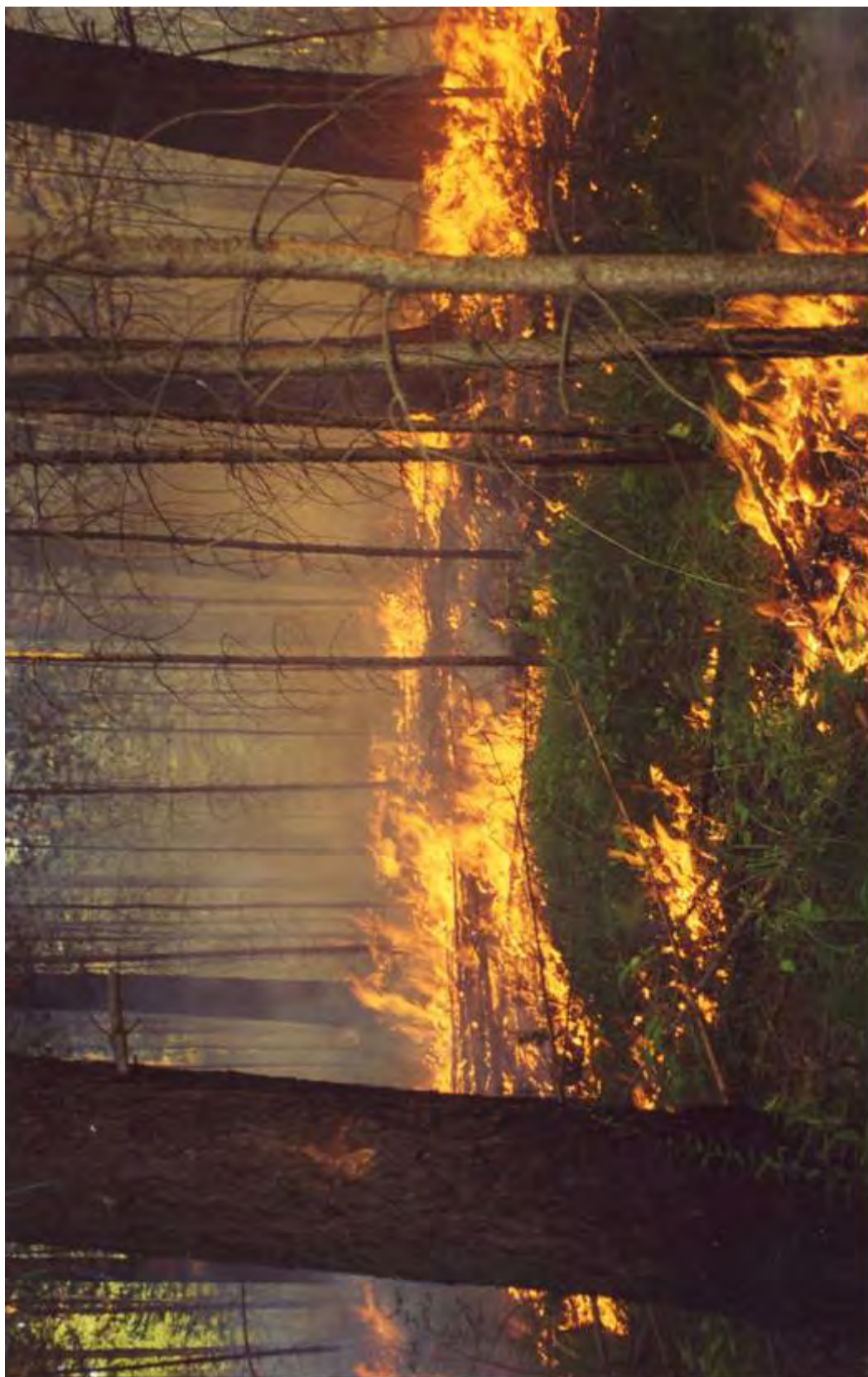


Рис. 39. Выжигание под пологом соснового леса.

Для определения состояния деревьев на пробных площадях до и после выжигания был проведен сплошной пересчет. В пересчет были включены все деревья и подрост до 2 см в диаметре. Оценка древесных растений производилась по состоянию хвои. К живым относились деревья, у которых более 60% кроны оставалось зеленой, к усыхающим – деревья, у которых менее 60% кроны оставалось зеленой, у сухостоя кроны (100%) были с пожелтевшей хвоей (табл. 35).

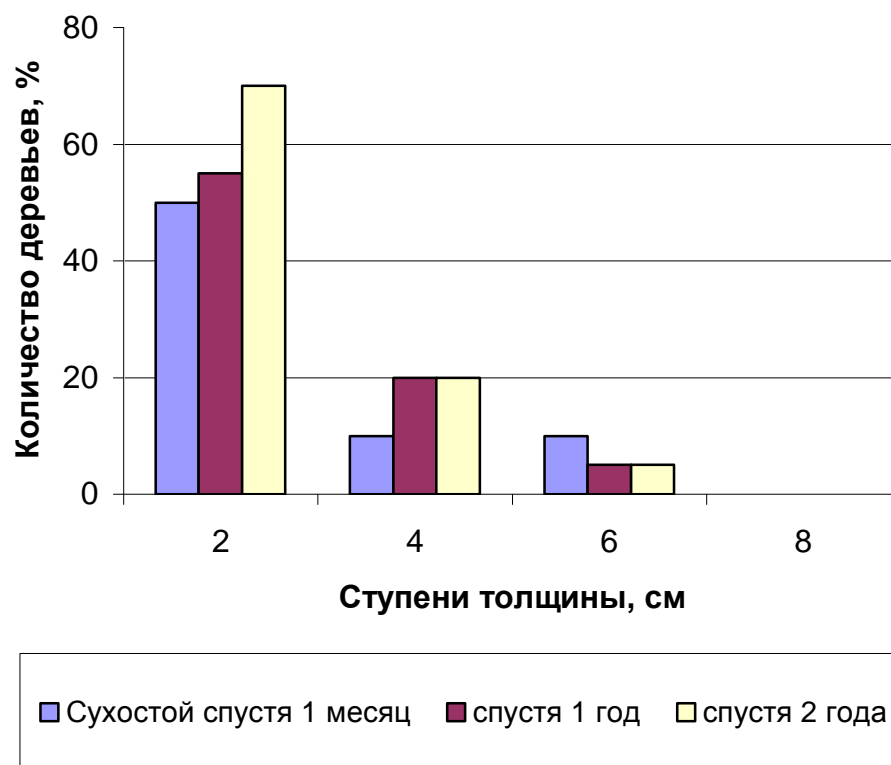
Таблица 35

Распределение деревьев по категориям состояния на участках до и после выжигания (% от общего количества)

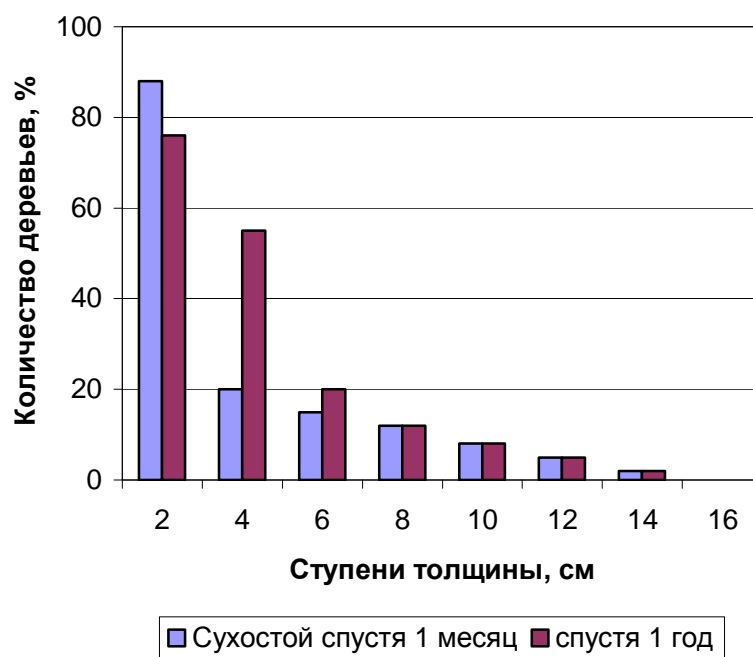
Время пересчета	Категории состояния деревьев			
	Живые	Усыхающие	Сухостой	Валож
Участок № 1				
До выжигания	91	2	6	1
Через месяц после выжигания	39	25	33	3
Спустя год после выжигания	32	24	37	7
Спустя 2 года после выжигания	28	16	46	10
Участок № 2				
До выжигания	97	1	1	1
Спустя месяц после выжигания	47	15	37	1
Спустя год после выжигания	44	5	41	10

В результате выжигания на первой пробной площади в течение 2 лет произошел отпад деревьев с диаметром до 6 см (рис. 40а). Наибольший (до 70%) отпад составляют деревья с диаметром до 2 см. Вывал сухих деревьев, независимо от их диаметра, происходит равномерно. Спустя 2 года после выжигания вывалилось 12% сухостоя. На участке № 2 в результате выжигания, произошел отпад деревьев с диаметром до 14 см, хотя основная масса отпада представлена деревьями с диаметром до 8 см (рис. 40б). Деревья с диаметром свыше 8 см погибли в местах с большим запасом напочвенных ЛГМ. При инвентаризации спустя месяц после выжигания, деревья еще не вываливались, но на следующий год валеж составил уже до 20% деревьев с диаметром до 2 см, 13% – до 4 см и 3% – с диаметром до 6 см.

После выжиганий в сосновом древостое происходит отпад деревьев нижнего яруса. При этом исчезает, так называемая, "ступенька" из ЛГМ, которая способствует переходу низового пожара в верховой. Снижаются также запасы напочвенных ЛГМ, вследствие чего уменьшается возможность возникновения высокоинтенсивных низовых пожаров, которые могут приводить древостои к гибели.



а)



б)

Рис. 40. Распределение отпада деревьев по ступеням толщины после выжигания в сосняке на участке № 1 (а) и участке № 2 (б).

7.2. ВЫЖИГАНИЯ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Забайкалье включает Республику Бурятия и Забайкальский край. Одной из основных причин возникновения лесных пожаров являются сельскохозяйственные палы (рис. 41). Бесконтрольное выжигание сухой травы на безлесных участках, примыкающих к лесным массивам – давняя причина лесных пожаров в этом регионе. Выжигания сухой травы существенно улучшают продуктивность пастбищ.

В Забайкалье безлесные участки в лесном фонде занимают более 14 % площади. К ним относятся лесные поляны, естественные сенокосы и пастбища, луга, болота, сельскохозяйственные поля, придорожные полосы.



Рис. 41. Сельскохозяйственные палы в лесостепной зоне Забайкалья.

Все эти уголья в весенний период становятся потенциально пожароопасными. Возникающие здесь пожары распространяются на лесные массивы.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия, сельскохозяйственные палы, как источники возникновения лесных пожаров, исследует научный сотрудник Байкальской лесной опытной станции Ю.К.Кузнецов. Он выявил особенности (характер) сельхозпалов, изучил возникновение пожаров при разных метеорологических условиях и воздействие огня на растительный покров (Кузнецов, 1990; 2001).

7.2.1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ЗАБАЙКАЛЬЯ

В Забайкалье преобладает среднегорный рельеф, широко распространены межгорные котловины и ярко выражена вертикальная поясность размещения растительности.

Климат Забайкалья – резко континентальный (Жуков и др., 1969). Суточные и годовые амплитуды температуры воздуха очень велики. Годовая амплитуда среднемесячных температур составляет 40-50°C. Удаленность территории от океанов и незначительный влагооборот от внутренних водоемов не оказывают заметного влияния на общие запасы атмосферной влаги вследствие незначительного испарения с их холодной поверхности и обуславливают пониженную относительную влажность воздуха. Общее количество осадков невелико: в котловинах оно колеблется от 230 до 350 мм. За два летних месяца выпадает 50-55 % годовой суммы осадков.

Сухая зима в Забайкалье длится 5,5 - 8 месяцев. Лето короткое – 2 - 3,5 месяца, теплое и сухое вначале и дождливое во второй половине. Снежный покров ложится преимущественно на мерзлую почву и сходит раньше оттаивания ее поверхности, поэтому запасы воды в снеге не приводят к эффективному увлажнению почвы. Устойчивый снежный покров начинает разрушаться в марте-апреле, полный сход снега происходит 1-3 неделями позже. Для весны характерны сочетания невысоких температур воздуха с

засушливостью, связанной с прогреванием воздуха при солнечной малооблачной погоде.

По лесорастительным условиям Забайкалье делится на три района: северный, центральный и юго-западный (Герасимов и др., 1965).

К северной части Забайкалья приурочена подзона среднетаежных горных лиственничных лесов. Хвойные леса занимают 79% территории. Наиболее распространенные типы леса: лиственничники брусничные, ерниковые и разнотравные. Наибольшее количество лесных пожаров (83%) приходится на весну (апрель-май) и начало лета (июнь). Основная причина их возникновения – сельскохозяйственные палы. Лесопожарная обстановка весной обостряется поздним (третья декада мая) началом вегетации травянистой растительности на безлесных площадях.

В Центральном Забайкалье, в границах Бурятии, лесистость составляет около 80 %. Леса входят в водоохранную зону озера Байкал. Здесь преобладают хвойные насаждения. Главная лесообразующая порода – сосна обыкновенная (46,7 % лесной территории). Основными типами леса являются сосняки брусничный, злаково-разнотравный и лиственничник брусничный. Начало вегетационного периода на безлесных участках приходится на первую декаду мая. Наиболее пожароопасными являются май и июнь. В этот период возникает 67 % всех пожаров.

В пределах бывшей Читинской области наиболее распространены лиственнично-березовые (52%) и березовые (34%) леса. На южных склонах встречаются сосняки. На северных - распространены лиственничные леса с подлеском из рододендрона даурского, ольхи кустарниковой, березы Гмелина. Чаще встречаются леса без подлеска или с редким подлеском со значительно развитым травяным покровом. Разнотравные типы леса занимают 65 % лесопокрытой площади, рододендроновые - 26 %. Третья часть весенних пожаров возникает от сельскохозяйственных палов.

В юго-западной части Забайкалья на долю хвойных лесов приходится 78% покрытой лесом площади. Основные лесообразующие породы:

лиственница (34,1%), кедр (26,0%), сосна (18,1 %) и береза (15,5%). Здесь преобладают следующие типы леса: брусничники, рододендроновые, багульниковые и злаково-разнотравные. Более 40 % весенних лесных пожаров возникает от сельскохозяйственных палов в апреле-мае.

7.2.2. ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Забайкальские степи приурочены к межгорным понижениям в виде небольших «островов» среди покрытых лесом возвышенностей. Исключение составляют только степи восточного Забайкалья, покрывающие и водоразделы. В целинном состоянии находятся лишь отдельные участки степей, большая же их часть распахана. Под земледелие освоены так называемые "мягкие" почвы днищ межгорных понижений, то есть участки, покрытые ранее ковыльной или крупнотравной растительностью. Интенсивный выпас скота в степной зоне привел к образованию степей невысокой производительности. Степные фитоценозы Забайкалья характеризуются незначительным проективным покрытием, слабым видовым разнообразием. В связи с этим почти в любом травяном сообществе видны участки минерализованной поверхности, отдельные особи значительно удалены друг от друга. Слабо выражена и ярусная структура.

Сезонная динамика травяных ценозов Забайкалья связана с неблагоприятными весенними погодными условиями. Начало вегетации затягивается. В конце апреля рост начинается только у единичных видов. Заметное формирование травостоя начинается со второй половины мая. Продолжительность вегетационного периода незначительная. Нарастание зеленой массы происходит до половины августа, затем появляются первые признаки отмирания и накопления ветоши, являющейся неплохим зимним кормом при вольном содержании скота. Выжигание не оказывает отрицательного влияния на видовой состав и производительность травостоев забайкальских степей. Этим можно объяснить то, что в Забайкалье и в других

степных районах России проводится выжигание травяной ветоши с целью улучшения качеств пастбищ.

В литературе нет однозначного вывода о влиянии пирогенного фактора на травянистую растительность (Родин, 1946, 1981; Иванов, 1952; Нефедьева, 1970; Работнов, 1978). Ю.А.Кузнецов (1990, 2001), на основе литературных источников о влиянии огня на травостой безлесных территорий, сформулировал ряд положений, в частности:

1. Основными факторами, определяющими эффект выжигания, являются время его проведения и влажность почвы после уничтожения огнем сухих трав.
2. Позитивное влияние огня наблюдается при выжигании сухой травы в период покоя растений: осенью, после окончания вегетации, и весной - до ее начала.
3. Положительность воздействия весенних выжиганий травы определяется сроками начала вегетации, типом строения корневых систем трав, глубиной залегания почек возобновления и их защищенностью, отношением вида к изменяющимся после воздействия огня условиям среды.

Региональные особенности природно-климатических, эдафических и фитоценологических условий Забайкалья определяют необходимость проведения здесь опытных работ с целью определения степени влияния выжиганий сухой травы на рост и развитие травяных ценозов и установление оптимальных сроков проведения профилактических выжиганий.

7.2.3. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДПИСАННЫХ ВЫЖИГАНИЙ

Проведение выжиганий в Забайкалье преследовало две цели:

- оценку влияния выжиганий на рост травяной растительности в разные сроки ее вегетации.

- разработку технологий выжиганий для защиты лесных массивов от сельхозпалов.

Анализ ранее проведенных исследований (Кузнецов, 1990; 2001) и наши наблюдения (Валендик и др., 2000, 2001 и т.д.) позволили установить, что технологии выжигания сухих травостоев должны быть основаны на разновременности пожарного созревания напочвенных горючих материалов под пологом леса и на безлесных участках. При выжигании необходимо также учитывать размещение травяных участков относительно лесопокрытых площадей.

Технология сплошного пала (рис. 42). Она наиболее эффективна и малозатратна, когда травяные площади находятся в окружении лесных массивов. В этом случае выжигание проводят одновременно на всей площади путем точечного зажигания, начиная с подветренной стороны участка, а затем в центре и на противоположной стороне, прилегающей к наветренной стороне леса.



Обозначения:



Рис. 42. Выжигание сплошным палом.

Технология создания защитных полос выжиганием (Рис. 43). Эта технология предусматривает создание защитных противопожарных полос для предупреждения распространения огня в прилегающие лесные массивы.

Защитные полосы создаются в два приема: 1). Прокладка двух минерализованных полос (плугом или фрезой), повторяющих контур леса с расстоянием между ними до 5 м; 2). Выжигание травостоя на площади между минерализованными полосами (рис. 43). Этот метод эффективен, но требует определенных финансовых затрат на прокладку минерализованных полос. Ю.А.Кузнецов (1990) рекомендует применять эту технологию в Забайкалье для защиты сосновых и лиственничных лесов.

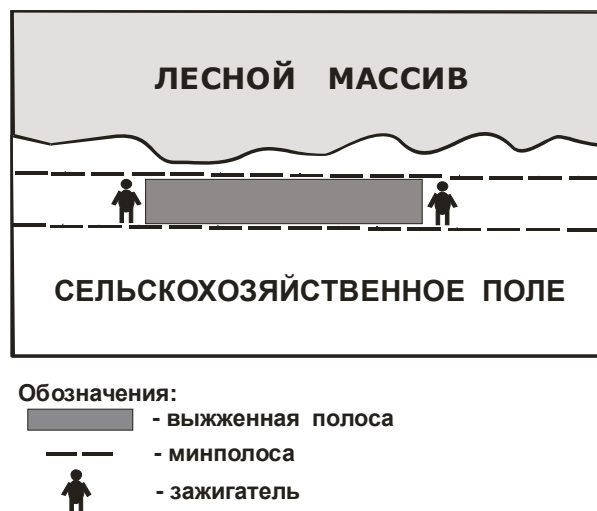


Рис. 43. Создание выжиганием защитных противопожарных полос.

7.2.4. ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЖИГАНИЙ

Оптимальные погодные условия и сроки проведения выжиганий трав в Забайкалье определены Ю.А.Кузнецовым (1990) (табл. 36).

Таблица 36

Оптимальные метеоусловия и ориентировочные сроки выжигания

Лесопожарные районы Забайкалья	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Ориентировочные сроки окончания выжиганий
Северный	от – 5 до +5	От 30 до 60	До 20 марта
Центральный	от – 5 до +10	От 30 до 50	До 10 марта
Южный	от -5 до +10	От 30 до 50	До 01 марта

Наиболее благоприятным для выжиганий безлесных площадей временем суток является период от 12:00 до 17:00 часов местного времени.

Исследования Ю.А.Кузнецова послужили основой для дальнейших разработок в этой области. Всероссийский научно-исследовательский и информационный центр по лесным ресурсам разработал "Методические рекомендации по проведению контролируемого сжигания сухой травы на участках лесного фонда для предупреждения лесных пожаров" (автор – Диченков Н.А., 1997).

Рекомендации предусматривают создание защитных противопожарных полос на участках лесного фонда Российской Федерации огневым способом. Выжигание (сжигание) сухой травы (ветоши) проводится в местах, ограниченных естественными или искусственными препятствиями для распространения огня, охранными (опорными) линиями: минерализованными полосами, дорогами и др. Участки лесного фонда, расположенные между охранными линиями и пройденные контролируемым огнем, представляют защитные противопожарные полосы. Они оказывают сдерживающее влияние на возникновение или распространение пожаров. Они носят наименование «защитных противопожарных полос».

Защитные противопожарные полосы создаются на не покрытых лесом участках лесного фонда с травяным покровом: вдоль автомобильных и железных дорог, а при необходимости и вокруг населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, вдоль малолесных границ лесничеств, лесных культур, на полянах, полях, прогалинах и лугах.

Выжигание сухой травы проводится в равнинных условиях, а при необходимости – и в холмистой и горной местности на участках лесного фонда с крутизной склона до 25 град.

Прокладка минерализованных полос, как охранных линий для создания защитных противопожарных полос, ведется заблаговременно.

Например, при использовании дороги в качестве охранной линии планируется проведение одной минерализованной полосы, шириной не менее 1 м на расстоянии до 20-25 м от дороги и параллельно ей, а две короткие - по концам защитной полосы. Эту территорию, создаваемую защитной противопожарной полосой, разделяют в поперечном направлении минерализованными полосами на части, т.е. блоки, через каждые 50-100 м.

Выжигания проводятся при относительной влажности воздуха более 50% и температуре воздуха, не превышающей 15-20°C, I-II классах пожарной опасности по условиям погоды и при средней скорости ветра, не превышающей 2 м/сек.

При выжиганиях необходимо учитывать, что на территории создаваемой защитной противопожарной полосы может быть большое многообразие влажности горючих материалов. Поэтому работы следует проводить по частям территории, начиная с подсохших участков. Последующие зажигания делают от мест, ранее пройденных огнем, не упуская короткого времени безопасности таких работ.

Предлагаемые технологии создания защитных противопожарных полос на участках лесного фонда путем контролируемого выжигания сухой травы были апробированы и рекомендованы Федеральной службой лесного хозяйства России для практического применения.

Глава 8. ПОСЛЕДСТВИЯ ВЫЖИГАНИЙ

8.1. ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫЖИГАНИЙ НА ПОЧВУ

Влияние огня на лесную почву обсуждается в ряде публикаций (Beadle, 1940; Sampson, 1944; Davis, 1959; Белов, 1973, 1982; Kozlowski, Ahlgren, 1974; Попова, 1979). Воздействие огня сводится к прогреванию почвы. Температура на поверхности почвы при пожаре может превышать 900°C (Davis 1959). Воздействие огня сильно зависит от вида пожаров и почв. Обычно обобщающие выводы даются для пожаров различного вида и интенсивности. При этом мало внимания уделяется пожарам слабой и сильной интенсивности. В большинстве случаев это воздействие слабое, так как почва плохо проводит тепло. На прогревание почвы влияют толщина и влажность напочвенных органических слоев. Изменения при воздействии огня в микробиологическом компоненте почвы не менее важны, чем прогревание почвы или изменения в ее химическом составе. Послепожарные изменения в почве чаще всего благоприятны для лесовозобновления.

Основные математические модели, описывающие прогревание почвы, хорошо объясняются ее физическими свойствами (Campbell, Tanton, 1981). Почва – плохой проводник тепла. Ее теплопроводность уменьшается по мере увеличения содержания органики и пористости почвы. Частично разложившееся органическое вещество очень плохо проводит тепло, в основном из-за высокой пористости, что подтверждается теплоизолирующими свойствами лесной подстилки. Воздух, как известно, является одним из лучших теплоизоляторов, его теплопроводность крайне мала. Каменистые и песчаные почвы нагреваются быстрее, чем глинистые, в основном из-за того, что камень лучше проводит тепло. В сельском хозяйстве эти почвы известны как теплые по сравнению с глинистыми. Влага увеличивает теплопроводность почвы, но в то же время отрицательный

эффект на почвенную температуру во время пожара нивелируется эффектом охлаждения от испарения влаги. Это означает, что хотя влажные почвы лучше проводят тепло, но требуется намного больше энергии, чтобы нагреть их до критических для органического вещества температур. Влажные почвы, в основном, являются холодными.

Еще большее значение для температурного режима почв имеет верхний слой полуразложившихся растительных остатков, или лесная подстилка, которая обычно присутствует в растительном сообществе и накапливается в течение многих лет. Часто подстилка является основным видом горючего материала при растительных пожарах и максимально приближена к минеральной части почвы. В тех местах, где лесная подстилка имеет большой запас и низкое влагосодержание, воздействие пожара на почву может быть очень разрушительно, особенно на бедных почвах. В то же время сгорание большого количества горючих материалов не обязательно ведет к повреждению почвы.

По мнению Дэвиса (1959), существует четыре фактора, влияние которых должно быть разделено перед тем, как оценивать воздействие огня на почву: частота пожаров; интенсивность и продолжительность пожара; тип леса; почва.

Частота пожаров влияет на величину периода накопления горючих материалов. Наличие или отсутствие подстилки, опада или других слоев и их масса являются одними из основных факторов (Белов, 1973).

Физические характеристики почвы, такие, как структура, влагосодержание, содержание органического вещества, материнская порода и другие, имеют важное значение при оценке воздействия огня на почву. Так, в хвойных лесах толстый слой подстилки под старыми деревьями накапливается. При пожаре сгорает только часть подстилки, почва и нижняя часть подстилки при этом, как правило, остаются влажными. В такой ситуации прямое воздействие на почву незначительно. Вся подстилка может быть уничтожена огнем только при сильной засухе, а также при повторных

пожарах на протяжении нескольких лет. Обнажение же минерального слоя почвы вследствие уничтожения растительного покрова, особенно в результате повторяющихся пожаров, может привести к эрозии и увеличению поверхностного смыва почв. Это наиболее встречающийся, длительный и разрушительный эффект пожаров (Viro, 1974; Gossow, 1996; Malkonen, Levula, 1996).

Установлено, что в первые 3 - 5 лет после пожара в верхних горизонтах почвы происходит значительное увеличение содержания легкодоступных растениям зольных элементов и минеральных форм азота (Сушкина, 1931). Объемный вес подстилки после пожара увеличивается в 2-3 раза (Санникова, 1977).

В сосняках Иркутского Приангарья, произрастающих на слабодерново-среднеподзолистых супесчаных почвах, после лесного пожара слабой, средней и сильной интенсивности, наблюдалось увеличение аммонийного азота. Максимальное количество аммония (93,6 мг на 100 г почвы) было отмечено при сильной интенсивности огня. Содержание подвижных соединений калия и фосфора увеличилось в два-три раза. Значительно снизилась гидролитическая кислотность. Меняется и суммарная биологическая активность почв. По истечении четырех и более лет эти показатели, по сравнению с негоревшими участками, выравниваются. Сильное и продолжительное воздействие огня на почву может вызвать ухудшение ее физических свойств. Так, при сильном прогорании почвы ее плотность увеличивается в 5 раз (Попова, 1979).

При пожарах сгорает органическое вещество в виде порубочных остатков, опада, мхов и подстилки. Без воздействия огня они оказывают очень слабое влияние на плодородие почвы, так как процесс разложения проходит очень медленно. Для плодородия почвы они важны только в будущем, как запас питательных веществ. После пожара плодородие почв на участке остается на высоком уровне в течение длительного времени. Выжигание горючих материалов, несомненно, вызывает большие потери

органического азота, но в то же время ведет к увеличению количества минерализованного азота. Большинство почв бедны кальцием и поэтому отчетливо наблюдается позитивная зависимость между количеством кальция и плодородием почвы. Это важно также в связи с благоприятным действием кальция на азотфиксирующие микроорганизмы. Не исключено, что пожары вызывают незначительные потери магния и других микроэлементов, но это существенно не влияет на плодородие почвы. Возможно более чувствительны были бы потери фосфора, но исследования этого не обнаружили (Viro, 1974; Humphreys, Craig, 1981; Malkonen, Levula, 1996).

Подзолистые почвы, кислые по своей природе, имеют тенденцию к закислению под хвойными породами, особенно под елью. Согласно литературным данным, кислотность почвы оказывает значительное влияние на ее плодородие и определяет биологическую активность, например, азотфиксацию, разложение органических остатков и др. Вмывание золы, послепожарная травянистая растительность, мягколиственные древесные породы, поселяющиеся на горячих, снижают кислотность почвы на 2 – 3 единицы, способствуя этим биологической активности почв (Viro, 1974).

Явного влияния пожара на структуру почвы не обнаружено. Термическое разрушение органических веществ, т. е. процесс окисления, протекает относительно медленно при температуре 200°C, быстро – при 400°C. Изменения же агрегатного состояния минеральной части почвы не происходят даже при температуре 400°C, когда все органическое вещество почвы разрушено. При выжиганиях порубочных остатков не наблюдалось изменений структуры по почвенному профилю. Только разрушительные верховые пожары могут вызвать заметные изменения в структуре верхнего 2,5-см слоя почвы. Небольшие структурные изменения происходят в дальнейшем из-за вымывания зольных веществ с поверхности почвы в более глубокие горизонты. Небольшие изменения пористости почв были зафиксированы только при достижении температуры 365°C, а слабые даже увеличивают объем крупных почвенных пор (Humphreys, Craig, 1981).

Анализ литературных данных свидетельствует о разнообразии воздействия лесных пожаров на почву и ее свойства.

Оценка прогрева почвы при контролируемых выжиганиях на сплошных вырубках проводилась прямыми измерениями температуры верхнего – 10 сантиметрового слоя почвы.

С этой целью было заложено 67 пробных площадок на 8 участках вырубок (табл. 37). Помимо замеров температуры, визуально фиксировался ряд параметров: скорость распространения и ширина кромки огня, высота пламени. По окончании горения измерялась толщина подстилки. Температура почвы даже на глубине 1 см не поднималась выше 43°C (табл. 37).

Таблица 37

Температура почвы на различных глубинах при контролируемых
выжиганиях

№ вырубки/год выжигания	Фоновая температура почвы на глубинах, °С				Максимальная температура почвы на глубинах, °С			
	1 см	3 см	5 см	8 см	1 см	3 см	5 см	8 см
1/1997	14,0	12,3	11,0	10,4	32,0	28,5	24,0	18,0
2/1997	11,2	10,0	8,9	8,5	43,0	34,5	27,0	18,0
5/1997	17,9	14,6	14,6	11,5	34,2	28,3	24,2	18,5
2/1999	12,4	11,0	11,4	10,0	30,6	24,9	18,8	13,5
3/1999	18,3	16,0	14,1	14,0	39,9	28,1	21,3	15,6
4/1999	12,5	12,0	11,2	10,5	32,3	22,9	16,5	12,7
5/1999	11,0	9,5	9,0	8,8	19,9	16,1	12,7	11,4
6/1999	13,2	10,8	10,0	9,8	21,8	15,6	11,7	10,4

На величину прогрева почвы влияют как параметры горения, так и влагосодержание в самой почве (табл. 38).

Прогревание почвы на разной глубине и усредненные параметры горения

№ участка/ год выжигания	Толщина "недожо- га", см	Температура почвы на глубинах, °С				Параметры горения		Влагосо- держание в почве, %
		1см	3см	5см	8см	Высота пламе- ни, м	Длитель- ность пламенного горения, мин.	
1/1997	2,4	18,0	16,2	13,0	7,6	0,6	12,0	63,0
2/1997	1,0	31,8	24,5	18,1	9,5	1,8	20,0	59,0
5/1997	2,5	16,3	13,7	9,6	7,0	2,2	15,6	75,0
2/1999	1,2	18,2	13,9	7,4	3,5	2,1	18,2	68,5
3/1999	1,1	21,6	12,1	7,2	1,6	2,4	22,3	50,0
4/1999	1,8	19,8	10,9	5,3	2,2	1,0	8,9	122,0
5/1999	4,7	8,9	6,6	3,7	2,6	0,3	13,7	132,0
6/1999	1,9	8,6	4,8	1,7	0,6	0,4	17,0	132,0

Более высокие значения температуры почвы были получены при контролируемых выжиганиях на вырубках в горных лесах. Самая высокая интенсивность горения была отмечена в местах скопления порубочных остатков. При проведении выжиганий температура на поверхности подстилки достигала 520°C, на глубине 1 см в подстилке – 120°C, а в почве - не превышала критическую (45°C) для почвенных микроорганизмов (Рис. 44). Из-за высокого влагосодержания (100-150%) подстилка в среднем прогорала на 0,5-1,0 см и защищала почву от перегрева. Даже при очень высокой интенсивности горения температура почвы на глубине 5-10 см отличалась от фоновой не более, чем на 10°C.

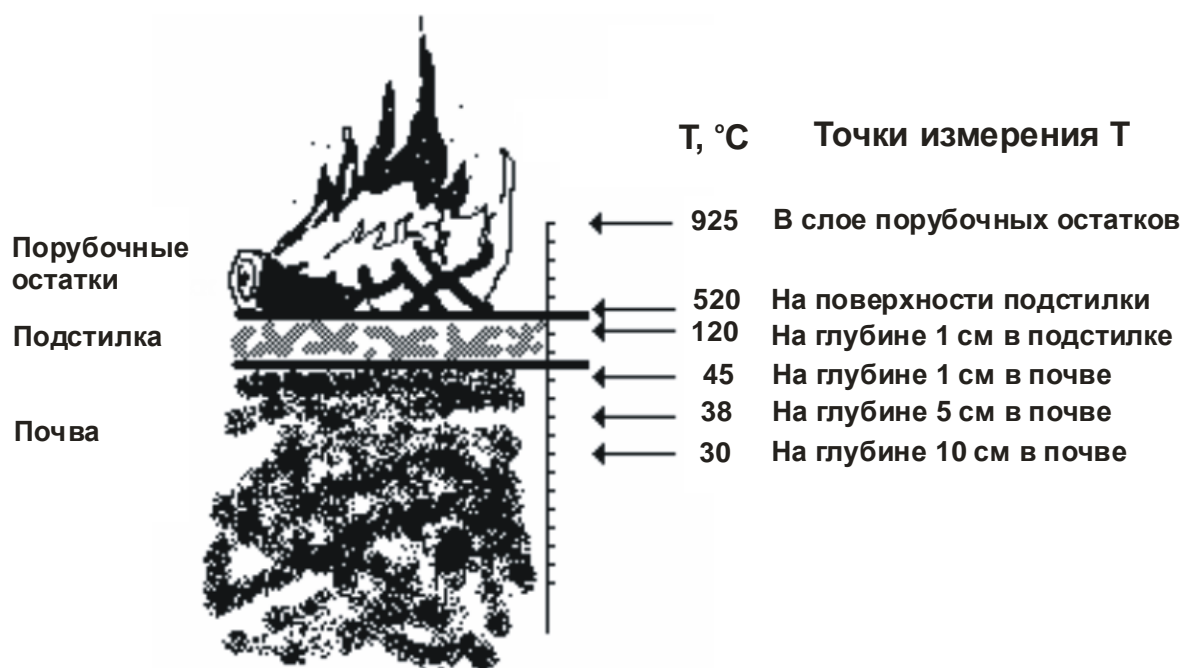


Рис. 44. Максимальные температуры (Т), зафиксированные в почве и подстилке при проведении выжиганий.

По литературным данным, температура при горении порубочных остатков может достигать 500-800°C, (Гулисашвили 1931; Серебренников и Матренинский, 1937; Иванов, 1965). При проведении контролируемых выжиганий максимальная температура (925°C) была зафиксирована нами на высоте 5-10 см от поверхности подстилки в слое порубочных остатков. Средние же температуры находились в пределах 500 – 750°C (рис. 45).

В среднем температура в минеральном слое почвы составила на глубине 1 см 18-25°C, 10 см – 14-20°C. Нагревание подстилки и почвы происходит значительно быстрее, чем их остывание. Так, если средняя скорость нагревания подстилки на глубине 1 см составляет 12,8°C/мин, то, после достижения своего максимума, температура падает со средней скоростью 4,9°C/мин. Для минерального горизонта почвы на глубине 1 см эти показатели меньше и составляют 0,06 и 0,04°C/мин соответственно.

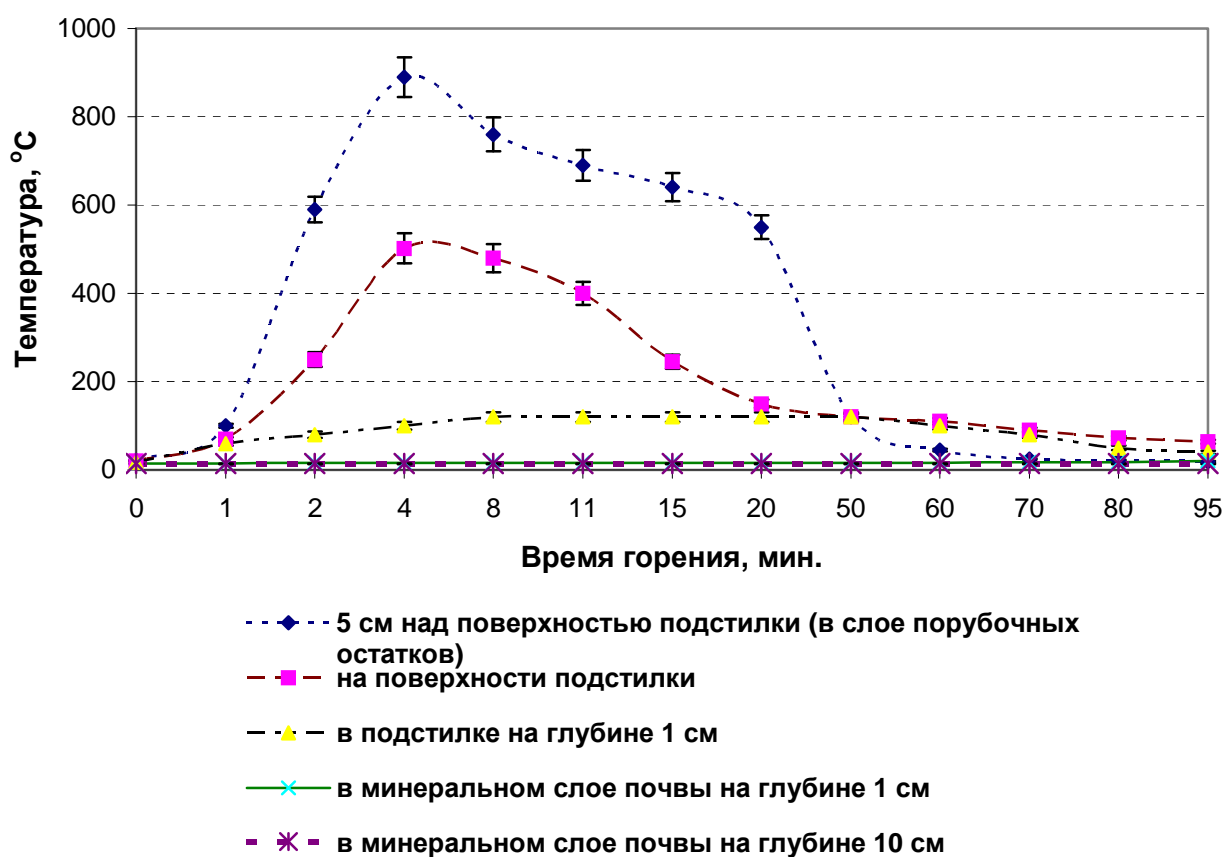


Рис. 45. Динамика температуры в слое порубочных остатков, подстилке и почве в период выжиганий.

Остывание подстилки и верхнего минерального слоя (0-10 см) идет значительно быстрее, чем нижних слоев почвы. Так, при нагревании поверхности минерального слоя почвы до 300-400°C, температуры на глубинах 8-20 см остаются повышенными (в зависимости от сезона и метеорологических условий) еще в течение 1-3 суток (Ткаченко, 1931).

На контрольных (фоновых) участках температура минерального слоя почвы на глубине 0-10 см находилась в пределах 10-11°C (Табл. 39).

Таблица 39

Динамика температуры почвы на различных глубинах при выжиганиях

Время после прохождения огня, мин	Контроль			Интенсивность горения								
				Слабая			Средняя			Высокая		
	Глубина в почве, см											
	1	3	8	1	3	8	1	3	8	1	3	8
10	10,0	11,0	11,5	24,8	22,2	21,4	43,6	44,8	39,7	69,7	56,8	44,5
30	9,1	10,4	11,2	12,3	14,2	14,9	30,1	33,4	31,6	40,2	41,6	42,5
60	9,0	10,2	11,2	12,2	12,8	14,2	22,4	26,5	25,4	29,3	31,6	30,2
90	8,8	10,1	11,2	12,0	12,5	14,1	20,0	24,7	25,2	28,1	30,8	30,1

Прогревание почвенного слоя на такой же глубине, на участках с разной интенсивностью горения, было неодинаковым. При высокой интенсивности горения (20-25 тыс. кВт/м) спустя 1 час после прохождения огня почва равномерно прогрелась до 30°C. На участках с интенсивностью горения около 1500 кВт/м почва в течение часа прогревалась до 22-26°C. При менее интенсивном горении (около 500 кВт/м) уже через 30 минут после прохождения огня температурный режим был близок к фоновому.

В местах скопления порубочных остатков, где подстилка сгорала полностью, температура верхнего минерального слоя почвы достигала 70°C. Высокая температура приводит к гибели большинства почвенных микроорганизмов и животных. Интенсивное горение наблюдалось лишь на 7-8% площади участка. Можно утверждать, что термическое воздействие на почву при выжигании ЛГМ в целом по всему участку не приводит к катастрофической гибели почвенной биоты. При интенсивности горения около 1500 кВт/м прогревание верхнего слоя почвы не превышает летального порога для почвенной биоты.

При слабом и среднем нагреве температура почвы на глубине корнеобитаемого слоя для большинства растений не является летальной. Однако, на участках, где температура почвы после прохождения огня достигает 70°C, могут сохраниться лишь виды травянистых растений с глубокой корневой системой или устойчивые к высоким температурам. К таким видам, в частности, относится такое благоприятное для лесовозобновления растение, как кипрей.

Относительно небольшое нагревание минерального слоя почвы, кроме высокого влагосодержания подстилки (100-150%), объясняется еще и тем, что при горении основная доля тепла удаляется нагретыми газами вверх. При распространении горения на участке почва получает незначительную часть энергии. Рассеивание тепла в окружающую среду происходит неравномерно: излучение в стороны составляет – 18-25 %, конвекцией и излучением вверх – 70-80 %; теплопроводностью почвы – 3-5 % (Амосов, 1958; Белов, 1973, 1982).

Незначительное нагревание верхнего минерального слоя почвы при выжиганиях не является летальным для почвенной биоты (Соколов, Богущ, 1999; Тимошкина, Тимошкин, Соколов, 2001). После выжиганий мезофауна минерального слоя почвы на вырубках остается неизменной, так как огонь воздействует только на биоту подстилки. Количество беспозвоночных и мелких позвоночных животных в подстилке возвращается к допожарному уровню уже на второй год. Выявлено, что выжигание порубочных остатков на вырубках способствует заселению этих биотопов птицами, характерными для открытых пространств.

Нагревание почвы при контролируемом выжигании концентрированных порубочных остатков (в кучах) намного выше, чем при использовании метода сплошного пала. Сбор порубочных остатков в кучи значительно увеличивает интенсивность горения и термическое воздействие на почву. Под кучами подстилка чаще всего сгорает и температура на

поверхности минерального слоя почвы может достигать 750°C (Елпатьевский, Румянцев, Ярмолович, 1935).

Градиент температуры почвы зависит от толщины недожога и влагосодержания в почве (рис. 46).

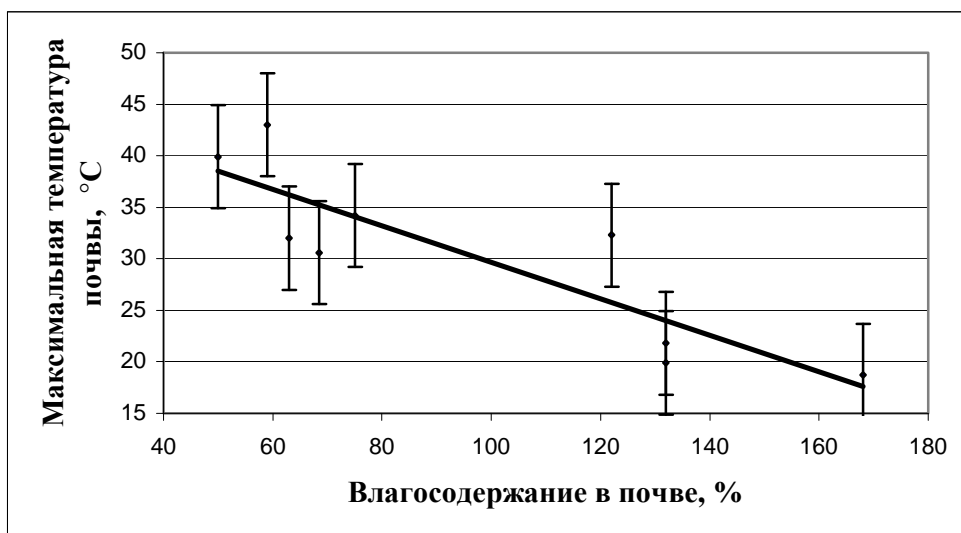


Рис. 46. Зависимость максимальной температуры почвы на глубине 1 см от содержания влаги в почве.

При наличии слоя подстилки температура почвы при выжиганиях на глубине 1 см повышалась на 10–35°C, не превышая, как правило, 45°C. При удалении подстилки на трелевочных волоках сгорание даже 1,5 кг/м² лесных горючих материалов вызывало повышение температуры почвы на глубине 1 см до 70°C. Это объясняется тем, что лесные горючие материалы плотно прилегают к поверхности почвы, а отсутствие лесной подстилки, обладающей большой пористостью и влажностью, не снижало высоких температур (Vallett et.al., 1994). Это подтверждает необходимость сохранения слоя подстилки под порубочными остатками. Между повышением температуры почвы на глубине 1 см и толщиной слоя несгоревшей подстилки (рис. 47) выявлена определенная зависимость.

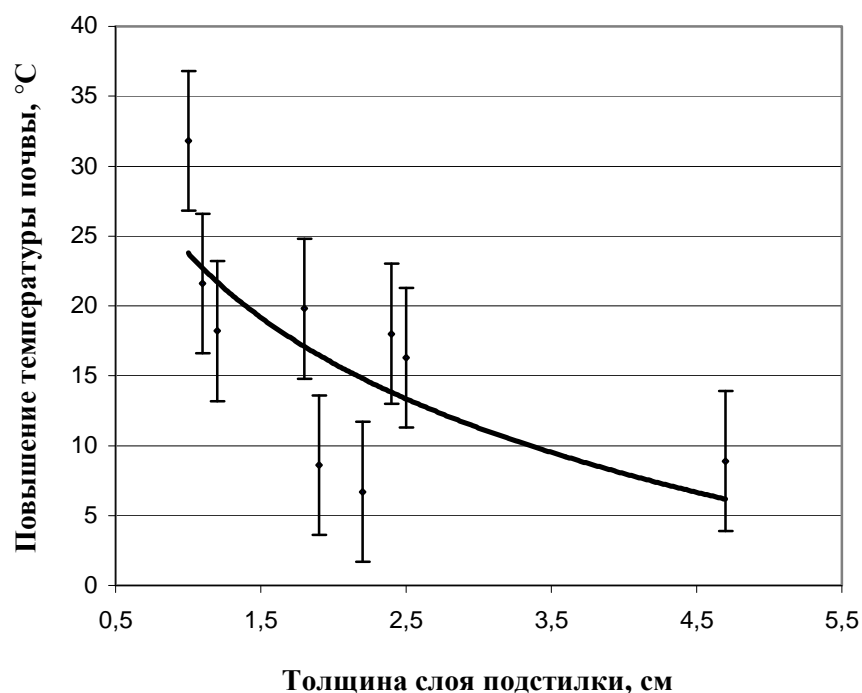


Рис. 47. Зависимость повышения температуры почвы на глубине 1 см от толщины слоя подстилки

Различия в повышении температуры верхних слоев почвы на пасаках и при сгорании скоплений порубочных остатков небольшие, всего 9–10°С (табл. 40).

Таблица 40

Различия в прогревании почвы на элементах вырубki

Элемент вырубki	Средняя интенсивность тепловыделения, кВт/м ²	Средняя максимальная температура почвы, °С на глубинах			
		1 см	3 см	5 см	8 см
Разделочная площадка	1211	38,5	33,9	28,5	20,7
Пасека	570	29,8	24,1	19,3	15,1
Волок	161	14,7	11,9	10,2	9,8

Толщина и влажность подстилки обуславливают длительность пламенного горения и теплопроводность. Нижние слои лесных горючих материалов и почва под скоплением порубочных остатков имеют меньшую

температуру и большую влажность, чем на пасаках. Для их нагревания требуется больше энергии. Как правило, при сохранности подстилки, чем больше запас горючих материалов в данной точке, тем выше влажность нижних слоев ЛГМ. Начальная температура здесь ниже. При меньшем запасе ЛГМ – влажность ниже и температура выше. Такой механизм защиты почвы при пожарах не "срабатывает" лишь при сильных засухах.

На некоторых участках на вырубке нельзя исключить полного сгорания подстилки и прогревания почвы до критических температур. Площадь таких участков чаще всего невелика и не оказывает существенного влияния на процесс лесовосстановления.

Образцы почвы для агрохимического анализа были взяты на вырубках до и после выжигания (табл. 41). Почвы на вырубках – слабо гумусированные. Низкое содержание гумуса характерно для дерново-подзолистых почв. По степени кислотности почвы относятся к сильнокислым и среднекислым.

Таблица 41

Агрохимическая характеристика верхнего горизонта почвы

Период взятия образцов почвы	Глубина, см	Гумус, %	рН		Обменные катионы, мг/экв./100 г		V, %	Подвижные ионы почвы, мг/кг	
			H ₂ O	KCl	H	Ca+Mg		N-NO ₃	P ₂ O ₅
Вырубка 1/1999									
До выжигания	0-5	1,86	5,52	4,70	4,71	10,8	69,3	4,01	2,5
В год проведения выжигания	0-5	2,41	6,05	5,45	3,79	25,2	86,9	13,8	45,5
Вырубка 1/1996									
До выжигания	0-5	1,80	4,95	4,02	6,97	24,0	77,4	10,4	65,0
Спустя 3 года после выжигания	5-10	1,44	5,10	3,62	8,28	12,0	590	Следы	175,0

При сгорании порубочных остатков на каждом гектаре вырубки образуется от трех до четырех тонн золы. По мере вымывания минеральных

соединений с поверхности почвы в более глубокие слои существенно снижаются все формы кислотности (в том числе и гидролитическая) и почти в два с половиной раза повышается количество обменного кальция и магния. Снижение кислотности и повышение суммы обменных оснований приводит к заметному повышению (до 86,9 %) после выжигания насыщенности основаниями (V) верхних горизонтов почвы. Значительно активизируется нитрификационная способность почв. Содержание азота в почве после выжигания превышает в 3 раза первоначальное количество. Этому способствует менее кислая реакция почвы, поступление зольных элементов, повышение насыщенности основаниями.

Почвы характеризуются низким содержанием подвижного фосфора. После проведения выжигания происходит увеличение подвижных фосфатов.

Предлагаемая технология контролируемых выжиганий на вырубках обогащает почву микроэлементами, что способствует (особенно в первые годы) лучшей всхожести семян, развитию сеянцев и саженцев. Сходные результаты были получены и другими исследователями (Иванов, 1965).

8.2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Воздействие огня (при контролируемых выжиганиях или лесном пожаре) резко изменяет условия произрастания. В результате естественного отбора формируются растительные сообщества с набором видов, соответствующих характеристикам новых экотопов. Послепожарные сукцессии, видовое разнообразие фитоценозов на различных временных этапах во многом определяются интенсивностью термического воздействия. Показателем разнообразия являются видовая насыщенность, отражающая как общее число видов в сообществе, так и значимость каждого вида (Уиттекер, 1980; Одум, 1986; Лукина, Никонов, 1995).

Роль пожаров в формировании живого напочвенного покрова в лесу неоднозначна. Пожары малой интенсивности приводят к частичной

минерализации подстилки, снижают ее запасы и мощность и способствуют разрастанию лишь некоторых видов трав и кустарников. Изменение интенсивности пожара существенно влияет на характер восстановления живого напочвенного покрова: изменяется его видовой состав, проективное покрытие, встречаемость и ценотическая значимость отдельных видов и популяций (Комарова, 1992; Фурьев, 1996). Так, пожары стимулируют процветание ценопопуляции Иван-чая узколистного (кипрея) (*Chamerion angustifolium* (L) Holub.).

Установлено, что процесс послепожарного восстановления живого напочвенного покрова под пологом леса и на вырубках протекает неодинаково и зависит от характера выгорания напочвенного органического материала. Это, в свою очередь, обуславливает мозаичность зарастания участков, подвергнувшихся воздействию огня (Иванова, Перевозникова, 1996).

Обследования послепожарного зарастания вырубок в горных темнохвойных лесах Восточного Саяна показали, что пожары средней и слабой интенсивности чаще всего приводят к смене растительного покрова на участках, "прогоревших" в разной степени. Их соотношение зависит от интенсивности пожара и запаса горючих материалов. При пожарах средней интенсивности, слабо "прогоревшие" участки занимают около 10 % площади. Сильно прогоревшие участки приурочены к местам с наибольшим запасом горючих материалов. После прохождения огня захламленность вырубок снижается до 50 %. При этом сохраняются преимущественно крупные порубочные остатки с диаметром более 4 см.

Формирование растительного покрова на вырубках в горных лесах Восточного Саяна детерминировано климатическими условиями высотного растительного пояса и протекает как по паловому, так и беспаловому типу. Паловый тип вырубки определяется глубиной прогорания подстилок (табл. 42). Видовой состав на вырубках, не подвергавшихся воздействию огня, более разнообразен и тесно связан с их экотопическим разнообразием.

Таблица 42

Изменение толщины подстилки и запаса трав на паловых вырубках
давностью 2 года

Экспозиция, склон, град.	Тип вырубки	Толщина слоя подстилки, см		Запас трав после пожара, т/га
		до пожара	после пожара	
СВ, 5	Кипрейно-паловая	1,5	0	2,23
ЮЗ, 10	Вейниково-паловая	3,5	2	1,97
ЮЗ, 10	Кипрейно-паловая	1,0	0,5	1,74
В, 5	Кипрейно-вейниково- паловая	4,0	1,0	1,90
З, 5	Вейниково-паловая	2,0	1	2,76
Плакор	Кипрейно-паловая	5,0	0,5	1,33
Плакор	Кипрейно-паловая	4,0	0,2	1,46
Долина ручья	Кипрейно-паловая	5,0	0,5	2,08
СВ, 15	Кипрейно-вейниково- паловая	2,5	1,5	2,07

В темных хвойных лесах среднегорной части Восточного Саяна послепожарное развитие растительного покрова на вырубках, пройденных пожарами средней и слабой интенсивности, происходит по паловому типу с преобладанием (в зависимости от степени прогорания подстилки) Иван-чая узколистного (кипрея) (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) или вейника тупоколоскового (*Calamagrostis obtusata* Trin). Кипрейная стадия в зарастании паловых вырубок, как правило, занимает не более 3-4 лет. Для образования и развития чистых кипрейно-паловых вырубок в горно-таежных лесах Восточного Саяна необходим пожар высокой интенсивности или повторное "прогорание" таких вырубок.

Как уже отмечалось ранее, в исследуемом регионе образование паловых вырубок кипрейно-вейникового типа связано со слабым прогоранием подстилки. При контролируемых выжиганиях толщина слоя подстилки снижается в 1,4-1,9 раза (табл. 43). При контролируемых выжиганиях запасы фитомассы травостоя снижаются в 1,4-1,7 раза по сравнению с негоревшими участками вырубки.

Таблица 43

Соотношение на вырубке участков с разной полнотой сгорания подстилки и изменение ее толщины

№ участка / год выжигания	Доля участков с разной полнотой сгорания подстилки, %			Средняя толщина подстилки, см	
	Слабая ^{*)}	Средняя ^{**)}	Сильная ^{***)}	До выжигания	После выжигания
1/1998	35	55	10	3,4±0,6	2,3±0,4
1/1999	35	45	20	2,7±0,6	1,4±0,7
1/2000	45	40	15	2,5±0,8	1,8±0,7
2/2000	35	50	15	3,1±0,7	2,2±0,8
3/2000	80	15	5	3,2±0,4	2,6±0,6

Примечание: ^{*)} - слабое – уменьшение слоя подстилки до 30%; ^{**) – среднее – 30-70%;}

^{***)} – сильное – 71-100%.

Характер зарастания вырубок после использования огня заметно различается. Пройденные огнем вырубки зарастают по кипрейно-паловому типу на второй год после выжигания. Общее проективное покрытие травяного покрова варьирует в широких пределах – от 5-10 % до 90 %. Небольшие участки с полным сгоранием подстилки размещены на вырубке разрозненно. Доминантами напочвенного покрова на них являются гипновые мхи и маршанция многообразная (*Marchantia polymorpha* L.), из древесных – всходы березы повислой (*Betula pendula* Roth), из травянистых – в большом количестве всходы Иван-чая узколистного (кипрея) (*Chamerion angustifolium*

(L) Holub.), а также вейника тупокосого (*Calamagrostis obtusata* Trin) и осоки большехвостой (*Carex macroura* Meinsh). Кипрей доминирует, на его долю приходится 80% от числа всех всходов.

На вырубках без выжигания около 80 % площадей зарастает по вейниковому типу. В растительном покрове заметно разрастаются кустарники (бузина, черная смородина), а также малина. Общее проективное покрытие травяного покрова составляет 100%. Моховой покров отсутствует, сохраняются лишь отдельные небольшие пятна гилокомиума (*Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G.) и плеуроциума (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), из травянистых растений, на минерализованных участках – всходы вейника тупокосого (*Calamagrostis obtusata* Trin), бора развесистого (*Milium effusum* L.), осоки большехвостой (*Carex macroura* Meinsh.). В зоне, прилегающей к волокам, наряду со всходами злаков встречается кипрей. Число всходов в среднем составляет 612 шт/м², из них на злаки приходится 63 %, на кипрей – 17 %. Возобновление хвойных отсутствует. Из лиственных пород единично встречаются экземпляры березы высотой до 1 м.

На следующий год после выжигания, наряду с уменьшением захламленности вырубков, снижается проективное покрытие трав, изменяется обилие и масса некоторых видов. Заращение выжженных участков – мозаичное. Наблюдается снижение обилия вейника тупокосого (*Calamagrostis obtusata* Trin). А обилие таких видов травянистых растений, как Иван-чай узколистный (кипрей) (*Chamerion angustifolium* (L) Holub), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.) и чистотел большой (*Chelidonium majus* L.), увеличивается. Значительно уменьшается в составе травостоя доля крупных трав (борец высокий (*Aconitum septentrionale* Koelle), осот разнолистный (*Cirsium heterophyllum* (L.) Hill.), дудник лесной (*Angelica silvestris* L.), василистник малый (*Thalictrum*). В первый год после контролируемого выжигания такие виды травянистых растений, как бор развесистый (*Milium effusum* L.), осока большехвостая (*Carex macroura* Meinsh.), подмаренник северный (*Galium boreale* L), костяника (*Rubus*

saxatilis L.), проявили индифферентность к воздействию тепла и не изменили своего обилия (табл. 44).

Таблица 44

Изменение обилия видов травяного покрова на вырубке спустя год после выжигания

Видовой состав	Обилие видов растений по Друде	
	До выжигания	После выжигания
Вейник тупокососовый (<i>Calamagrostis obtusata</i> Trin)	cop ₂	sp – cop ¹ gr
Сныть горная (<i>Aegopodium alpestre</i> Ledeb.)	cop ¹	sp-cop ¹
Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i> L.)	cop ¹	sp-cop ¹
Бор развесистый (<i>Milium effusum</i> L.)	sp	sp
Костяника (<i>Rubus saxatilis</i> L.)	sp	sol
Ясколка (<i>Cerastium</i> L.)	sp	-
Звездчатка (<i>Stellaria media</i>)	sp	-
Кипрей (<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub)	sol	cop ¹
Ожика волосистая (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)	sol	sol
Папоротник Линнея (<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newman)	sol	-
Земляника (<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston)	sol	-
Осока большехвостая (<i>Carex macroura</i> Meinsh.)	sol	sol
Хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.)	sol	sp
Хвощ луговой (<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.)	sol	sol
Реброплодник уральский (<i>Pleurospermum uralense</i> Hoffm.)	sol	-
Медуница (<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.)	sol	sol
Плаун (<i>Lycopodium annotinum</i> L.)	un	-
Щитовник игольчатый (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs)	un	-
Герань белоцветковая (<i>Geranium albiflorum</i> Ledeb.)	sol	-
Чистотел (<i>Chelidonium majus</i> L.)	-	sol
Осот разнолистный (<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill.)	sol	-
Борец высокий (<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle)	-	sol
Подмаренник северный (<i>Galium boreale</i> L.)	sol	sp
Дудник лесной (<i>Angelica sylvestris</i> L.)	sol	-
Василистник малый (<i>Thalictrum minus</i> L.)	sol	-

Флористическое разнообразие травяного покрова на вырубках после выжиганий оценивалось с помощью коэффициента сходства (К) (Василевич, 1969):

$$K = [2c/a+b],$$

где c – число общих видов для обоих описаний, a – число видов до выжиганий, b – число видов после выжиганий.

Коэффициент сходства видового состава между негоревшей и прогоревшей частью вырубki равен 0,65, что свидетельствует об их флористической близости.

После выжиганий зарастание вырубok может происходить, в зависимости от степени прогорания подстилки, как по кипрейному, так и по вейниковому типу. При сильном прогорании подстилки в растительном покрове доминирует кипрей.

Исследования выявили однотипность зарастания горных темнохвойных лесов, пройденных пожарами слабой интенсивности. Такие участки леса обычно зарастают с доминированием в травяном покрове злаков. Только после прохождения высокоинтенсивных пожаров, во время которых выгорает весь слой подстилки, зарастание вырубok идет по кипрейно-паловому типу (рис. 48).

Обследование вырубok спустя три года после выжигания показало, что их развитие идет по кипрейно-паловому типу: стебли кипрея после «давления» снега были полностью прижаты к земле, но не угнетали всходы хвойных пород.

Для проведения учета стеблей кипрея на выжженной вырубке заложено 10 площадок размером 1 м². При среднем числе стеблей, равном 46 шт./м², колебания находятся в пределах 32 – 65 шт./м².

Толщина слоя старых стеблей кипрея не превышала 10 см. Проективное покрытие травянистой растительностью составляло 80 %, на прошлогодние стебли кипрея приходилось более 50% (рис. 49). Отмерших стеблей кипрея двух- или трехлетней давности не обнаружено, что свидетельствует о быстром их разложении (в течение одного вегетационного сезона).



Рис. 48. Кипрейно-паловый тип вырубки, формирующийся после выжигания

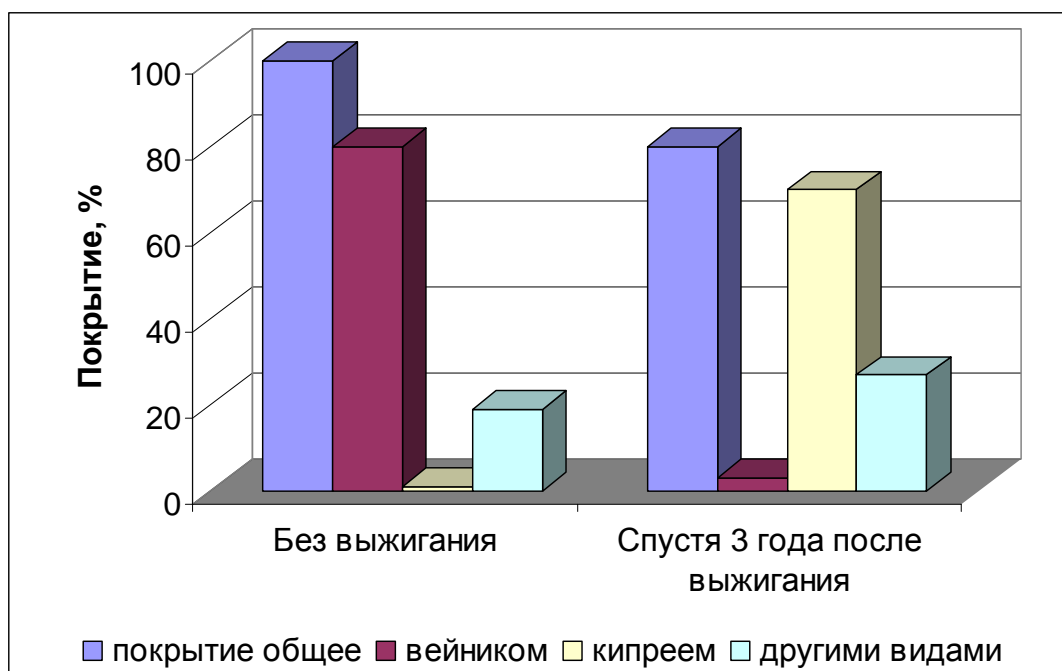


Рис. 49. Сравнительная характеристика травяного покрова на вырубках.

8.3. ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ

Основной целью проведения на вырубках выжиганий является снижение пожарной опасности. Вместе с тем, большое значение имеет воздействие выжиганий на процесс лесовосстановления. Способ огневой очистки лесосек всегда вызывал споры. Для лесоводов проблема лесовосстановления на вырубках остается актуальной и на сегодняшний день (Валендик и др., 2000).

В литературе встречаются противоречивые сведения о влиянии на естественное и искусственное возобновление термического воздействия на почву. Ряд авторов относится отрицательно к контролируемым выжиганиям и возможности создания лесных культур на горях (Чернышев, 1962; Гулисашвили, 1963; Колесников, 1963; Васьков, Патрикеев, 1986). Они аргументируют свою позицию воздействием огня на лесную подстилку, и

частичное сгорание гумуса, а также уменьшением содержания азота в верхних слоях почвы.

В то же время существует и противоположная точка зрения на роль огня при лесовосстановлении, особенно на супесчаных хорошо дренированных почвах (Ткаченко, 1931; Молчанов, Шиманюк, 1949; Мелехов, 1954; Декатов, 1961; Побединский, 1964 и др.).

Проведенные контролируемые выжигания, в первую очередь, были ориентированы на снижение пожарной опасности на вырубках путем «изъятия» порубочных остатков как горючих материалов – потенциальных материалов для пожаров. Второй задачей была лесоводственная задача: создание огневой очисткой условий для появления всходов и роста сеянцев и саженцев на начальном этапе лесовосстановления.

Все выжигания были проведены во второй половине лета и в начале осени. На следующий год после выжигания живой напочвенный покров отличался большим видовым разнообразием и отсутствием явных доминантов. Иван-чай на пройденных огнем вырубках занял доминирующее положение лишь на второй год. Количество появившегося самосева хвойных пород под покровом кипрея оказалось в 2,2 раза больше, чем под вейником.

В мае 2000 года было проведено обследование вырубки, на которой в 1996 году было проведено выжигание. Осмотр показал, что самосев хвойных пород расположен по выжженной площади неравномерно. Он приурочен к наиболее прогоревшим местам. Для учета самосева заложено по 10 учетных площадок размером 5х2 м на расстоянии 50, 100 и 150 м от стены леса.

На расстоянии 50 м от стены леса (при составе 7С1К1Е1П) количество самосева составляло около 2 тыс. шт./га. На расстоянии 100 м – 1,5 тыс. шт./га (5С3П1К1Е), 150 м – 200 шт./га (9С1К). Установлена закономерность: чем больше расстояние от стены леса, тем реже размещен самосев.

Исследована приуроченность самосева хвойных пород к толщине подстилки, оставшейся после горения. Выявлено, что сеянцы сосны,

лиственницы, ели и пихты, как правило, размещаются на микроучастках, где толщина подстилки не превышает 3 см. Самосев кедров чаще размещается около естественных укрытий (прикорневые лапы, валежник и др.).

Следовательно, при выжиганиях с целью ускорения процесса лесовосстановления нужно добиваться уменьшения толщины подстилки. В то же время подстилка препятствует избыточному прогреванию почвы, предотвращает ее послепожарную эрозию и выполняет другие полезные функции. Поэтому полное уничтожение подстилки следует исключить. Оптимальной является толщина оставшейся после выжигания подстилки в 1–3 см, она не препятствует укоренению всходов и саженцев, одновременно предотвращает эрозию почвы.

В 2006 году (спустя семь лет после проведения выжиганий) были проведены обследования на вырубках (Валендик и др., 2007в). К этому времени на вырубке стабилизировались видовой состав и структура живого напочвенного покрова, появилась основная масса самосева. «Выжженная» рубка – вейниково-кипрейная, оставленная под естественное зарастание без воздействия огня – вейниково-осоковая.

Один из основных показателей успешности естественного возобновления – численность появившихся древесных растений. В динамике возобновления на гарях выделяется несколько фаз численности возобновления (Ильичев, Бушков, Тараканов, 2003). Фаза всплеска численности возобновления охватывает период 1–3 года, фаза снижения – 3–5 лет, относительной стабилизации – от 5–6 до 14–15 лет, фаза замедления возобновления – от 15–16 до 20 лет.

Численность молодого поколения леса на вырубке без воздействия огня ниже, чем на «горевшей». На вырубках, где проводили выжигания, преобладают хвойные породы (табл. 45).

При оценке естественного лесовосстановления на вырубках важно не только количество подроста, определяемое по показателю встречаемости, но и равномерность его размещения по площади. Так, встречаемость подроста

на «горевшей» и «негоревшей» вырубках – соответственно 88 и 77 %. Хвойный и лиственный подрост более равномерно распределяется на вырубках после пожара (табл. 45).

Таблица 45

Сравнительная характеристика хода естественного возобновления на вырубках

Показатели	Вырубка	
	пройденная огнем	контрольная
Количество молодых древесных растений , тыс. шт/га:		
хвойных пород	25	8,7
лиственных пород	9,2	23,1
Встречаемость на вырубке, %:		
молодого поколения леса	88	77
хвойного	49	37
лиственного	72	67
Соотношение пород молодого поколения леса, %:		
хвойных	59	25
лиственных	41	75

Формирование молодого поколения древесных растений на вырубках носит вероятностный характер и зависит от взаимодействия различных факторов. Определяющими из них на вырубках, оставленных под естественное зарастивание, являются исходный тип леса и степень нарушенности лесорастительной среды в процессе рубки леса. Для выруб, очищенных огнем, имеет значение синхронность выжигания и семенного года.

Состав подроста на контрольной вырубке – 3ПЗБ4Ос, ед. К, Е, на «прогоревшей» – 3ЕЗС1К1Б2Ос+П, Л. Доля участия пород, характерных для темнохвойных насаждений, здесь в составе подроста выше. Отмечено преобладание на «негоревшей» вырубке лиственных пород.

Анализ распределения подроста по высотным группам показал, что на выжженной вырубке преобладающая высота хвойных – до 1 м, лиственных – 1–1,5 м, на негоревшей – от 0,5–1 м (рис. 50). Распределение лиственных по высоте на негоревшей вырубке более равномерное, чем на горевшей. Основная часть лиственных имеет высоту от 1 до 1,5 м, доля лиственного подроста других высотных групп составляет 10–12% (рис. 51).

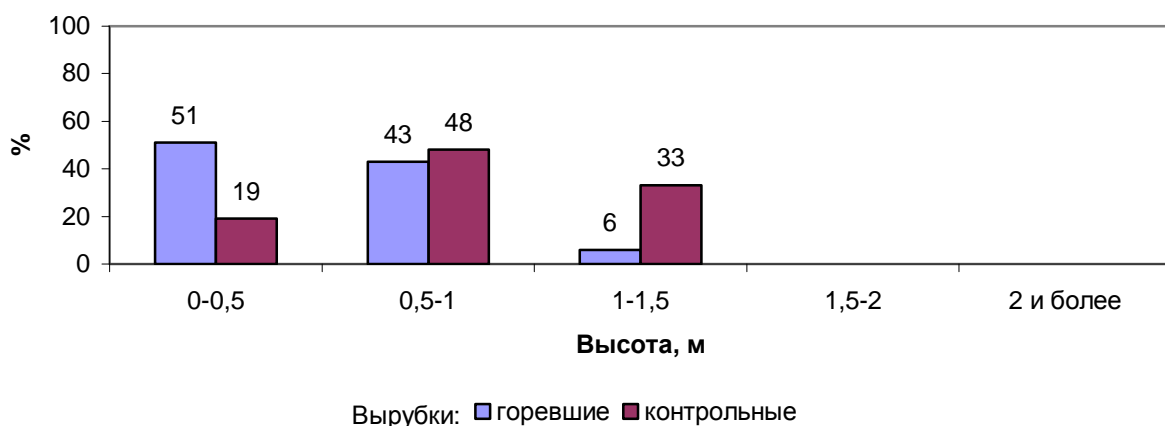


Рис. 50. Соотношение хвойных пород (%) по высотным группам на вырубках.

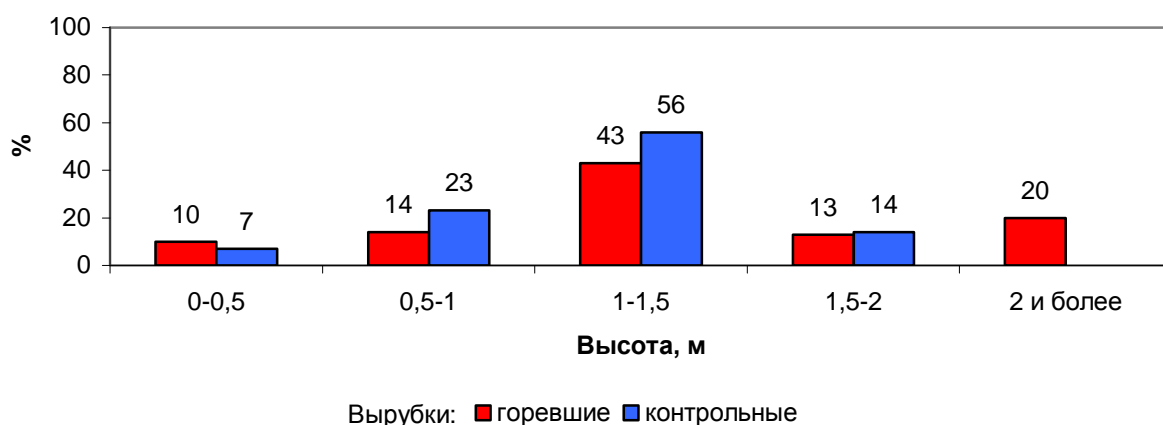


Рис. 51. Соотношение лиственных пород (%) по высотным группам на вырубках.

Успешность естественного возобновления оценивается количеством и качеством всходов и самосева. На сравниваемых вырубках распределение древесных растений молодого поколения леса по возрасту неравномерное, большая его часть имеет возраст от 2 до 5 лет. Возрастная структура естественного возобновления на вырубках, пройденных выжиганиями, значительно отличается от вырубков, оставленных на естественное лесозаращивание. На вырубках, пройденных огнем, встречаются всходы и самосев всех лесообразующих пород, тогда как на контрольных (без воздействия огня) сосна и лиственница отсутствуют. Из хвойных пород после выжиганий доминирует сосна, а на контрольных – пихта. Из лиственных пород на всех вырубках преобладает осина (табл. 46). Следовательно, на вырубках, где проводили контролируемые выжигания, изменился породный состав естественного возобновления. Можно предполагать, что в конечном итоге будут формироваться молодняки хозяйственно ценных хвойных пород.

Таблица 46

Возрастная структура молодого поколения леса на вырубках до и после воздействия огня, тыс. шт/га

Порода	Вырубка					
	с выжиганием			контрольная		
	всходы	самосев 2– 5 лет	подрост 6– 10 лет	всходы	самосев 2– 5 лет	подрост 6– 10 лет
Сосна	4,6	6,0	-	-	-	-
Кедр	0,6	1,1	-	-	0,7	-
Ель	4,3	5,0	-	-	0,7	-
Пихта	0,7	1,5	-	1,0	5,4	0,9
Лиственница	0,8	0,4	-	-	-	-
Осина	2,3	2,9	-	3,4	7,8	1,7
Береза	1,7	2,3	-	2,3	6,4	1,5

Одной из важнейших составляющих успешности естественного возобновления на вырубках является благонадежность молодого поколения

леса. Жизненное состояние подроста и самосева на вырубках после контролируемых выжиганий и оставленных под естественное лесозаращивание заметно различается. Так, благонадежного хвойного подроста на выжженной вырубке в 2,4 раза больше. Численность благонадежного лиственного подроста на "негоревшей" вырубке в 3,1 раза выше (табл. 47). Доля сомнительного и неблагонадежного хвойного подроста практически одинакова на одной и на другой вырубках.

Соотношение категорий состояния лиственных отличается от хвойных. У лиственного подроста на горевшей вырубке доля сомнительного и неблагонадежного достигает 43 % против 17% на "негоревшей" вырубке (табл. 47).

Таблица 47

Распределение молодого поколения леса на вырубках по категориям жизненного состояния

Порода	Вырубка					
	с выжиганием			контрольная		
	благона- дежный	сомни- тельный	неблаго- надежный	благона- дежный	сомни- тельный	неблаго- надежный
Сосна	5,9	3,7	1	-	-	-
Кедр	1	0,4	0,3	1,1	-	-
Ель	5,7	2,5	1,1	1,2	-	-
Пихта	1,5	0,5	0,2	3,8	2,6	0,9
Лиственница	0,7	0,3	0,2	-	-	-
Всего хвойных, %	59	30	11	60	30	10
Осина	2,9	2	0,3	10,0	2,9	-
Береза	2,4	1,2	0,4	9,2	1	-
Всего лиственных, %	57	35	8	83	17	-

Естественное послепожарное лесовозобновление на вырубках, очищенных с помощью огня, протекает успешно. Согласно некоторым авторам (Ильичев и др., 2003), в процессе возобновления прослеживается снижение численности древесных растений. При этом число всходов хвойных на вырубках после выжиганий составляет 11 тыс. шт/га, а на контрольной – всего 1 тыс. шт/га. После контролируемых выжиганий, кроме увеличения численности всходов, самосева и подроста, улучшаются породный состав и жизнеспособность.

В отличие от вырубок, оставленных на естественное лесозаращивание, на вырубке после выжигания создаются благоприятные условия для появления послепожарного поколения хвойных пород, отличающихся быстрым ростом и хорошим жизненным состоянием.

Заключение

Управляемый огонь постепенно находит свое место в лесоуправлении и лесопользовании лесами Сибири. Работники лесного хозяйства уже не считают огонь только отрицательным фактором. В ряде случаев он имеет положительное значение в жизнедеятельности лесных экосистем.

Все чаще в целях как профилактики, так и активной борьбы с пожарами используются контролируемые выжигания. Они относятся к наиболее эффективным и экономичным методам снижения пожарной опасности и стимулирования естественного лесовосстановительного процесса под пологом леса и на вырубках. При огневой очистке вырубок полностью сгорают порубочные остатки с диаметром до 2,5 см. Более крупные порубочные остатки выгорают на 25-30 %. На одном гектаре вырубки образуется около 2-3 тонн золы. Благодаря высокой влажности подстилки, плодородный слой почвы не нарушается, полностью сохраняется микрофауна.

После выжиганий на вырубке можно проводить как посев, так и посадку лесных культур без дополнительной подготовки почвы. Всходы хвойных пород чувствуют себя хорошо на обогащенных в процессе выжигания почвах. Технологии контролируемых выжиганий позволяют предотвращать задержание вырубок вейником и стимулировать зарастание их по кипрейно-паловому типу. Кипрей не является конкурентом лесных культур. Под его защитой хорошо развиваются и самосев хвойных пород, и лесные культуры.

Удаление на вырубках с помощью огня ЛГМ и порубочных остатков предотвращает возникновение здесь пожаров в течение 2-3 лет, до появления растительности. При зарастании вырубок кипреем эта ситуация сохраняется еще в течение 5-6 лет, так как послепожарные запасы кипрея в сухом состоянии находятся за пределами распространения огня.

Метод контролируемых выжиганий эффективен и при очистке территории от усохших лесов после дефолиации сибирским шелкопрядом. Другие методы в этих условиях по техническим причинам неприемлемы. После выжигания послепожарные процессы в "шелкопрядниках" аналогичны имеющим место на вырубках.

Выжигания в светлохвойных насаждениях позволяют при определенных условиях и режимах горения снижать запасы напочвенных ЛГМ до предельного уровня, при котором распространение пожара невозможно. Удаление при этом подроста (без повреждения древостоя) предупреждает переход низового пожара в верховой.

Длительные научно-производственные работы Института леса СО РАН послужили основанием для разрешения применения контролируемых выжиганий сплошным палом на вырубках в равнинных, горных темнохвойных лесах, а также "в шелкопрядниках".

На федеральном уровне были разрешены контролируемые выжигания на не покрытых лесом участках с травяной растительностью, а также создание огневым способом защитных полос по границам лесов и сельскохозяйственных угодий.

Дальнейшее совершенствование эффективных и экономичных технологий и методов контролируемых выжиганий будет стимулировать включение их в практику лесопользования и лесопользования в лесах Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амосов Г.А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1958. – 30 с.
- Андреев Ю.А. Население и лесные пожары в Нижнем Приангарье. – Красноярск: ВНИИПО, 1999. – 93 с.
- Арцыбашев Е. С. Основные задачи лесной пирологии // Горение и пожары в лесу. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1984. – С. 5-7.
- Атлас Красноярского края и Республики Хакасии. – М.: Роскартография, 1994. – 83 с.
- Бабинцева Р.М. Динамика живого напочвенного покрова на вырубках кедровых древостоев в северной части Западного Саяна // Возобновление в лесах Сибири. – Красноярск: Изд-во Красноярский рабочий, 1965. – С. 148-162.
- Бабинцева Р. М., Чередникова Ю. С. Естественное возобновление под пологом древостоев южной тайги // Лесовосстановление в подзоне южной тайги. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1983. – С. 5-13.
- Баженов И.К. Западный Саян. – Л.: Изд-во АН СССР, 1934. – 137 с.
- Балбышев И.Н. Сравнительная пожароустойчивость древесных пород лесной зоны // Лесные пожары и борьба с ними. – М.: Издательство АН СССР, 1963. – С. 114-126.
- Белов С.В. Управляемый огонь в лесу – средство восстановления сосняков и лиственничников таежной зоны // Горение и пожары в лесу. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1973. – С. 213-232.
- Белов С.В. Лесная пирология. – Ленинград: Издательство ЛТА, 1982. – 68 с.
- Бузыкин А. И. Сосновые леса и лесовосстановительные процессы в бассейнах рек Баргузин и Турка. Дис. канд. с-х. н. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1964. – 126 с.

- Бузыкин А.И. Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. – Красноярск, ИЛИД СО АН СССР, 1975. – С. 141-153.
- Ваганов Е.А., Арбатская М.К., Шашкин А.В. История климата и частота пожаров в центральной части Красноярского края. Дендрохронологический анализ связи изменчивости прироста деревьев, климата и частоты пожаров // Сибирский экологический журнал. –1996. –Т. 30. –№ 1. – С. 19-28.
- Валендик Э. Н. Шкалы пожарной опасности для лесов Красноярского края и Тувинской АССР // Лесные пожары и борьба с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 31-57.
- Валендик Э. Н., Исаков Р. В. Об интенсивности лесного пожара // Прогнозирование лесных пожаров. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. – С. 40-51.
- Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. – Москва.: Изд-во Наука, 1979. – 200 с.
- Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, 1990. –192 с.
- Валендик Э. Н., Иванова Г. А. Экстремальные пожароопасные сезоны в бореальных лесах Средней Сибири // Лесоведение, 1996. –№ 4. – С. 12-19.
- Валендик Э. Н. Управляемый огонь в лесном хозяйстве Сибири // Лесное хозяйство, 1998. – № 1. – С. 51–52.
- Валендик Э. Н., Векшин В.Н., Верховец С.В., Забелин А.И., Иванова Г.А., Киселяхов Е.К. Управляемый огонь на вырубках в темнохвойных лесах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 209 с.
- Валендик Э. Н., Векшин В.Н., Иванова Г.А., Киселяхов Е.К., Перевозникова В.Д., Брюханов А.В., Бычков В.А., Верховец С.В. Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 172 с.

- Валендик Э. Н., Иванова Г. А. Пожарные режимы в лесах Сибири и Дальнего Востока // Лесоведение. – 2001. – № 4. – С. 69-76.
- Валендик Э.Н., Верховец С.В., Киселяхов Е.К., Лантух А.Ю. Роль шелкопрядников в горимости лесов Нижнего Приангарья // Лесное хозяйство, 2004, – № 6. – С. 27-29.
- Валендик Э.Н., Сухинин А.И., Косов И.В. Влияние низовых пожаров на устойчивость хвойных пород. – Красноярск: ИЛ СО РАН. – 2006. – 96 с.
- Валендик Э.Н., Верховец С.В., Киселяхов Е.К., Косов И.В., Тюльпанов Н.А., Лантух А.Ю. Технология выжигания шелкопрядников // Региональные проблемы экосистемного лесоводства. Под ред. А.А.Онучина. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2007а. – С. 246-251.
- Валендик Э.Н., Рыбников В.Ю., Перевозникова В.Д. Лесовозобновление на вырубках в темнохвойных лесах после контролируемых выжиганий // Лесное хозяйство, 2007в. – № 4. – С. 23-25.
- Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. – Л.: Наука, 1969. – 292 с.
- Васьков С.П., Патрикеев Е.И. Изменение физико-химических свойств почв на гарях // Разработка путей рационального использования лесных ресурсов Среднего Поволжья. – Йошкар-Ола: Изд-во Марийского политехнического института, 1986. – С. 50-53.
- Ведомости учета древостоев, поврежденных сибирским шелкопрядом (по состоянию на 01.09.96 г.) // Красноярск: Восточно-Сибирское государственное лесоустроительное предприятие, 1996.
- Волобуев М. И. К вопросу о геологическом строении юга Ангаро-Канской части Енисейского кряжа // Сборник материалов по геологии Красноярского края. – М.: Госгеолтехиздат, 1960.
- Гайковский Ф.А. Охранение лесов от пожаров // Лесное законоведение. – 1885. – С. 39-44.
- Галахов Н. Н. Климат // Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1964. – С. 83–118.

- Герасимов И.П., Преображенский В.С., Помус М.И., Сочава В.Б. и др. Природные условия и естественные ресурсы СССР в Предбайкалье и Забайкалье. – М., 1965. – 492 с.
- Гирс Г.И. Физиология ослабленного дерева. – Новосибирск, Наука. СО АН СССР, 1982. – 255 с.
- Головин В.Ф. Красноярский край // Изв. Красноярск. Отд. Всесоюзн. географ. об-ва. – 1960. – Т. 30, вып. 1. – С. 61–74.
- Горбачев В. Н., Попова Э. П. Почвенный покров южной тайги Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма, 1992. – 223 с.
- Гродницкий Д. Л., Разнобарский В. Г., Шабалина О. М., Павличенко Е. А., Солдатов В. В. Лесовозобновление в шелкопрядниках // Экологические аспекты лесовыращивания и лесопользования / Р.М. Бабинцева, А.И. Бузыкин, В.Н. Горбачев и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – С. 127–143.
- Гудошников С. В. Кедровые леса Восточного Саяна // Проблемы охраны природы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. – С. 112–118.
- Гулисашвили В.В. Опыты по изучению влияния огня на возобновление леса. // Опытнo-исследовательские работы по общему лесоводству. 1931.
- Гулисашвили В.З. Рациональное использование горных лесов СССР // Лесное хозяйство. – 1963. – № 12, – С. 4.
- Давыдов А. В. Оценка современных методов очистки лесосек в лесах лесопромышленной зоны. – Ленинград: Гослестехиздат, 1934. – 40 с.
- Декатов Н.Е. Мероприятия по возобновлению леса при механизированных лесозаготовках. – М., – Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 278 с.
- Диченков Н.А. Рекомендации по созданию защитных противопожарных полос на участках лесного фонда контролируемым сжиганием сухой травы. – М., ВНИИЦлесресурс, 1997. – 11 с.

- Елпатьевский М.П., Румянцев С.П., Ярмолович Б.К. Способы очистки лесосек применительно к типам леса. – Л.: Гослестехиздат, 1935. – 99 с.
- Ерохина А. А., Кириллов М. В. Почвы // Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1964. – С. 189–226.
- Жуков А. Б., И. А. Коротков, В. П. Кутафьев, Д. И. Назимова, С. П. Речан, Е. Н. Савин, Ю. С. Чередникова. Леса Красноярского края. Леса СССР. – М.: Наука, 1969. – т. 4. – 248 с.
- Зверева Г. А. Тайга верховьев р. Поймы (Восточный Саян) // Известия СО АН СССР, серия биол. -мед. наук, вып. 1, 1966. – № 4. – С. 7-13.
- Иванов В. В. К вопросу о роли степных пожаров. // Бюл. Моск. о-ва исп. прир., отд. биол., 1952. – т. 57, вып. 1. – С. 62-69.
- Иванов Н.И. Огневая очистка лесосек и основные вопросы ее лесохозяйственного значения. Автореферат канд. дис. – Свердловск: УЛИ, 1965. – 24 с.
- Иванова Г.А. Экстремальные пожароопасные сезоны в лесах Эвенкии // Сибирский экологический журнал, 1996. – Т. 3. – № 1. – С. 29-34.
- Иванова Г.А., В.А.Иванов, Е.А.Кукавская, С.Г.Конард, Д.Д.Макрей. Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири // Сибирский экологический журнал, 2007. –№ 6. – С. 885-895.
- Иванова Г. А., Перевозникова В. Д. Типологическая структура вырубок низкогорной части Восточного Саяна и их пожароопасность // География и природные ресурсы, 1994. – № 1. – С. 54-60.
- Иванова Г. А., Перевозникова В. Д. Послепожарное формирование живого напочвенного покрова в сосняках Среднего Приангарья // Сибирский экологический журнал, 1996. – Т. 3. – № 1. – С. 109-116.
- Ильичев Ю. Н., Бушков Н. Т., Тараканов В. В. Естественное лесовосстановление на гарях Среднеобских боров. – Новосибирск, 2003. 196 с.

- Казанский Н. А. Опыты по изучению влияния огня на возобновление сосны // Сборник статей по лесоводству. – М.: Сельхозгиз, 1931.
- Колесников Б.П. Принципы эксплуатации горных лесов Урала // Лесное хозяйство, 1963. – № 12. – С. 8.
- Комарова Т.А. Послепожарные сукцессии в лесах Южного Сихотэ-Алиня. – Владивосток: ДВНЦ, 1992. – 222 с.
- Коржуев С.С. Средняя Сибирь // Равнины и горы Сибири. – М., 1975. – С. 122-244.
- Коротков И. А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России. – Красноярск, ИЛиД СО АН СССР, 1994. – С. 29-47.
- Корчагин А.А. Условия возникновения пожаров и горимость лесов европейского Севера // Очерки по растительному покрову СССР. –Л.: ЛГУ, 1954. – С. 182-322. (Ученые записки ЛГУ, № 166, вып. 9).
- Красильников П. К. Типы лесов Центральных Саян и их хозяйственное значение // Тр. Бот. Ин-та АН СССР. Сер. V, 1961. – Вып. 9. – С. 49-150.
- Краснощеков Ю.Н., Валендик Э.Н., Безкоровайная И.Н., Верховец С.В., Кисильхов Е.К., Кузьмиченко В.В. Влияние контролируемого выжигания шелкопрядников на свойства почв в южной тайге Приенисейской Сибири // Региональные проблемы экосистемного лесоводства. Под ред. А.А.Онучина. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2007. – С. 251-261.
- Крауклис А.А. Региональные черты Приангарской тайги // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 14-27.
- Кузнецов Ю.А. Защита леса от сельскохозяйственных палов в Забайкалье. Автореферат дис. На соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Красноярск, 1990. – 20 с.

- Кузнецов Ю.А. Защита лесов от сельскохозяйственных палов в Забайкалье. – Улан-Удэ: ОАО "Газетно-журнальный комплекс", 2001. – 166 с.
- Куликов М.И. Типы шелкопрядников таежной зоны Западной Сибири и особенности их лесовозобновления // Продуктивность и восстановительная динамика лесов Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1971. – С. 159–178.
- Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 154 с.
- Курбатский Н.П. Проблемы лесных пожаров // Возникновение лесных пожаров. – М.: Наука, 1964. – С. 5-60.
- Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. – С. 5-58.
- Курбатский Н. П. Природные и хозяйственные факторы повышенной пожарной опасности в лесах // Проблемы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1975. – С. 9–18.
- Курбатский Н.П., Иванова Г.А. Пожароопасность сосняков лесостепи и пути ее снижения. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. – 113 с.
- Лапшина Е. И., Горбачев В. Н., Храмов А. А. Растительность и почвы Енисейского кряжа (южная часть) // Растительность правобережья Енисея. – Новосибирск: Наука, 1971. – С. 21– 66.
- Лашинский И.И. Физико-географические условия Опоковского стационара // Структурно-динамические особенности фитоценозов Нижнего Приангарья. – Новосибирск, 1969. – С. 13-80.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Подходы к оценке разнообразия коренных и техногенно трансформированных лесных экосистем. – М.: Наука, 1995. – С. 271-274.
- Любимова Е.Л., Хотинский Н.А. О некоторых особенностях лесов юга Центральной Сибири // Лесное хозяйство, 1960. – № 9. – С. 23-25.

- Матвеев П. М., Безруких С. М., Филатов Е. Н., Матвеев А. М. О способах проведения лесовозобновительных выжиганий // Тезисы докладов научно-технической конференции. – Красноярск, 1987. – С. 32.
- Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. – Архангельск: АЛТИ, 1947. – 60 с.
- Мелехов И.С. Возобновление леса при концентрированных рубках на Севере. – Архангельск: Архангельское книжное издательство, 1954.
- Мелехов И. С. Лесная пирология. Учебное пособие для студентов лесохозяйственных факультетов. – М.: МЛТИ, 1983. – 59 с.
- Молчанов А.А. Скорость распространения лесных пожаров в зависимости от метеорологических условий и характера древостоя // Лесное хозяйство, 1940. – № 6. – С. 64-67.
- Молчанов А.А. Условия распространения верховых пожаров в сосняках // Лесное хозяйство, 1957. – № 8. – С. 50-53.
- Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. – М.: Наука, 1976. – 168 с.
- Молчанов А.А., Шиманюк А.П. Восстановительные процессы на концентрированных лесосеках. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 128 с.
- Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.-Л.: Гослестехиздат, 1949. – 76 с.
- Нефедьева Л.Г. Особенности распределения надземной биомассы в основных фациях Онон-Аргунской степи // Топологические особенности тепла, влаги, вещества в геосистемах. – Иркутск, 1970. – С. 90-92.
- Одум Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 238 с.
- Побединский А.В. Рубки главного пользования. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 208 с.
- Побединский А. В. Возобновление леса на концентрированных вырубках. – Ленинград.: Гослесбумиздат, 1955. – 92 с.
- Побединский А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. – М.: Наука, 1965. – 268 с.

- Попова Э. П. О продолжительности пирогенного воздействия на свойства лесных почв // Горение и пожары в лесу. – Красноярск: ИЛИД СОАН, 1979. – С. 110–117.
- Правила пожарной безопасности в лесах, 2007.
- Проблемы охраны лесов от пожаров, приложение № 2 к журналу “Лесная новь”, июнь, 1996. – М.: Компания «Алес», 1996. – 56 с.
- Прозоров С. С. Сосновая пяденица в лесах Западной Сибири // Тр. Сиб. лесотехн. ин-та. – 1956. – Сб. 12, вып. 2. – С. 13-84.
- Работнов Т.А. О значении пирогенного фактора для формирования растительного покрова // Ботанический журнал, 1978. –Т. 63. – № 11. – С. 1605-1611.
- Родин Л.Е. Выжигание растительности как прием улучшения злаковополюнных пастбищ // Советская ботаника, 1946. –№ 3. – С. 147-163.
- Родин Л.Е. Пирогенный фактор и растительность аридной зоны // Бот. журн., 1981. – Т. 66. – № 12. – С. 1673-1683.
- Санников С. Н. К проблеме содействия естественному возобновлению хвойных древесных пород в таежной зоне // Интенсификация лесного хозяйства на Урале. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. – С. 36–43.
- Санникова Н. С. Низовой пожар как фактор появления, выживания и роста всходов сосны // Обнаружение и анализ лесных пожаров. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1977. – С. 110–128.
- Серебренников П.П., Матренинский В.В. Лесные пожары и борьба с ними. – М. – Л.: Гослестехиздат, 1937. – 183 с.
- Смагин В.Н. и др. Лесохозяйственное районирование Сибири // Лесные растительные ресурсы Сибири. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. – С. 5–23.
- Соколов Г.А., Богуш О.А. Влияние контролируемого выжигания порубочных остатков на фауну мелких млекопитающих // Тезисы докладов 6-го съезда Териологического общества. – М.: Изд-во РАН, 1999. – С. 241.

- Софронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири. – М.: Наука, 1967. – 147 с.
- Софронов М. А. Об условиях высыхания лесных горючих материалов под пологом древостоев // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1970. – С. 59–104.
- Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1964. – 480 с.
- Сушкина Н.Н. К микробиологии лесных почв в связи с действием на них огня. // Исследования по лесоводству. – М. – Л.: Сельхозгиз, 1931.
- Тимошкина О.А., Тимошкин В.Б., Соколов Г.А. Зоокомплексы вырубок и искусственных гарей западной части Восточного Саяна // Ботанические исследования в Сибири. – Вып. 9. – Красноярск, 2001. – С. 172-181.
- Типы лесов гор Южной Сибири (Отв. ред. В. Н. Смагин) – Новосибирск: Наука, 1980. – 334 с.
- Ткаченко М. Е. Леса Севера. – Санкт-Петербург, 1911. – 91 с.
- Ткаченко М.Е. Очистка лесосек. – М.– Л.: Сельколхозиздат, 1931. – 112 с.
- Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 600 с.
- Тюрин А. В. Основы хозяйства в сосновых лесах. – М.: Новая деревня, 1925. – 144 с.
- Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.
- Указания по противопожарной профилактике в лесах и регламентация работ лесопожарных служб. Утверждены Федеральной службой лесного хозяйства России 29.10.1993 г., приказ № 289.
- Устав лесной по изд. 1905 г. с продолжениями 1906, 1908, 1909 и 1910 гг., относящимися узаконениями, инструкциями, правилами и разъяснениями Правительствующего Сената: В двух томах. Сост. Д. Д. Назаров, Л. Х. Сабинин. [Том 1 - 2] / -2-е изд., испр. и доп., неофициальное. – С.-Петербург: Типолитография П. Т. Ревина. – 1913.
- Фалалеев Э.Н. К характеристике сосново-лиственничных лесов Северо-Енисейского района Красноярского края // Труды СибТИ. – Сб. XII. – 1956.

- Фуряев В.В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. – М: Наука, 1966. – 92 с.
- Фуряев В.В. Профилактические палы при формировании пожароустойчивых сосняков // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1974. – С. 241-261.
- Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. – Новосибирск: Наука, 1996. – 251 с.
- Харинский М.И., Непомник Е.В., Филимонов Э.Г., Мартыщенков В.В. Лесопожарная техника для борьбы с крупными и катастрофическими пожарами // Лесные пожары и борьба с ними. Сборник научных трудов. – Красноярск: ВНИИПОМлесхоз, 1991. – С. 82–92.
- Цветков П. А., Иванов В. В. Захламленность вырубок после применения агрегатной лесозаготовительной техники // Лесные пожары и их последствия. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1985. – С. 124–132.
- Чередникова Ю. С. Типы кедровых лесов северного склона хребта Манское Белогорье // Типы лесов Сибири. – М.: Наука, 1963. – С. 133-140.
- Чернышев А.И. Применять безогневую очистку лесосек // Лесное хозяйство. – 1962. – № 4. – С. 62.
- Шилов Д. Сборник законоположений о сбережении и охране лесов, частных и общественных с приложением инструкций и наставлений. – С -Петербург, 1889. – 174 с.
- Шумилова Л.В. Ботаническая география Сибири. – Томск: Томский университет, 1962. – 439 с.
- Baisan C.H., Swetnam T.W. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, USA // Can. J. For. Res. – 1990. – V. 20. – Pp. 1559–1569.
- Beadle N. C. W. Soil temperatures during forest fires and their effect on the survival of vegetation // J. Ecol. – 1940. – V. 28. – Pp. 180–192.
- Brown J. K. Handbook for inventorying downed woody material. Gen. Tech. Rep. INT-16. – Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1974. – 24 p.

- Brown J. K., R. D. Oberheu, C. M. Johnston. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. Gen.Tech.Rep. INT-129. – Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1981. – 48 p.
- Byram G. M. Combustion of forest fuels // Forest fire: control and use. (K.P. Davis, ed). – New York: McGraw-Hill Book Co. Inc. – 1959. – Pp. 61–89.
- Campbell A. J., M. T. Tanton. Effects of fire on the invertebrate fauna of soil and litter of a eucalypt forest // Fire and Australian biota. (A.M.Gill, R.H.Groves, I.R.Noble, eds.). – Canberra: Australian Academy of Science, 1981. – Pp. 217–242.
- Caprio A.C., Swetnam T.W. Historical fire regimes in elevational gradient on the west slope of the Sierra Nevada, California // Symposium of Fire in Wilderness and Park Management: Past Lessons and Future Opportunities. Univ. Montana, Missoula, MT, 1993. – Pp. 79–90.
- Crutzen P.J., Goldammer J.G. Fire in the environment: the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires (John Wiley and Sons). – New York. –1993. – 456 p.
- Davis K. P. Forest fire: control and use. – New York –Toronto – London: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1959. – 584 p.
- Flannigan M.D., Wotton B.M. Lightning-ignited forest fires in northwestern Ontario // Canadian Journal of Forest Research, 1990. – N 21. – Pp. 277-287.
- GFMC. International Multi-Lingual Fire Management Terminology (English, Russian, Mongolian, German). -2010. -360 p.
- Goldammer J.G., Price C. Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on MAGICC and a GISS GCM-derived lightning model // Climatic Change, 1998. – 39. – Pp. 273–296.
- Gossow H. Fire–vegetation–wildlife interactions in the boreal forest // Fire in ecosystems of boreal Eurasia (J.G. Goldammer, V.V.Furyaev, eds.). –

- Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 1996. – Pp. 431–444.
- Humphreys F. R., F. G. Craig. Effect of fire on soil chemical, structural and hydrological properties // Fire and Australian biota. (A.M.Gill, R.H.Groves, I.R.Noble, eds.). – Canberra: Australian Academy of Science, 1981. – Pp. 177–202.
- Kasischke E.S., Christensen N.L., Stocks B.J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests // Ecological Applications, 1995. – N 5(2). – Pp. 437–451.
- Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia // Fire in ecosystems of boreal Eurasia (J.G. Goldammer, V.V.Furyaev, eds.). – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 1996. – Pp. 112–128.
- Kozlowski T. T., C. E. Ahlgren. eds. Fire and ecosystems. – New York-San Francisco-London: Academic Press, 1974. – 542 p.
- Madany M.N., Swetnam T.W., West N.E. Comparison of two approaches for determining fire dates from tree scars // For. Sci. – 1982. – V. 28. – Pp. 856–861.
- Mälkonen E., Levula T. Impact of prescribed burning on soil fertility and regeneration of Scots pine. // Fire in ecosystems of boreal Eurasia (J.G. Goldammer, V.V.Furyaev, eds.). – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 1996. – Pp. 453–464.
- McRae D. J. Prescribed burning in jack pine logging slash: a review. Rep. O-X-289. – Sault Ste. Marie, ON: Can. For. Serv., Great Lakes For. Cent., 1979. – 57 p.
- McRae D.J. Prescribed Burning for Stand Conversion in Budworm-killed Balsam Fir: An Ontario Case History // Forestry Chronicle, 1986. – April. – Pp. 96–100.
- McRae D. J., M. E. Alexander, B. J. Stocks. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Rep. O-X-287. – Sault

- Ste. Marie, Ontario: Environ. Can., Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., 1979. – 44 p.
- Sampson A. W. Plant succession on burned chaparral lands in Northern California // Univ. Cal. Agr. Expt. Sta. Bul. – 1944. – 685 p.
- Stelmachovich S. Forest Fires on the Island of Sakhalin. A Chronicle of the Disaster // Wildfire. – December 1998. – V. 7, N. 12. – Pp. 35–39.
- Stocks, B.J. Fire potential in the spruce budworm-damaged forests of Ontario // For. Chron. – 1987. – 63. – Pp. 8–14.
- Swetnam T.W. Fire history and climate change in giant sequoia groves // Science, 1993. – 262. – Pp. 885–889.
- Swetnam T.W. Fire and climate history in the central Yenisey region, Siberia // Fire in ecosystems of boreal Eurasia (J.G. Goldammer, V.V.Furyaev, eds.). – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 1996. – Pp. 90–104.
- Valendik E. N., R. J. Lasko, Ye. K. Kisilyakhov, G. A. Ivanova, V. D. Perevoznikova, S. V. Verkhovets. Prescribed fire for managing Siberian Forests // Wildfire, 1997. – V. 6, N. 8. – Pp. 29–32.
- Valendik E. N., Brissette J. C., Kisilyakhov Ye. K., Lasko R. J., Verkhovets S. V., Eubanks S. T., Kosov I. V., Lantukh A. Yu. An experimental burn to restore a moth-killed boreal a conifer forest, Krasnoyarsk region, Russia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006. – Vol. 11, No 4. – Pp. 883–896.
- Vallett J. C., V. Gomendy, F. Maréchal, C. Houssard, D. Gillon. Heat transfer in the soil during very low-intensity experimental fires: the roll of duff soil moisture content // The International Journal of Wildland Fire, 1994. – V 4, N 4. – Pp. 225–238.
- Van Wagner, C.E. The line intersect method in forest fuel sampling // For. Sci., 1968. – 14. – Pp. 20–26.

- Viro P. J. Effects of forest fire on soil // Fire and ecosystems (T.T Kozlowski and C.E.Ahlgren, eds.). – New York-San Francisco-London: Academic Press, 1974. – Pp. 7–44.
- Weber, M.G. and Flannigan, M.D. Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: impact on fire regimes // Environmental Reviews, 1997. – 5. – Pp. 145–166.