

УДК 630\*43

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ СИБИРИ

© 2014 г. П. А. Цветков, Л. В. Буряк\*

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН*

*660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

*\*Сибирский государственный технологический университет*

*660049, Красноярск, просп. Мира, 82*

E-mail: tsvetkov@ksc.krasn.ru, lburak@mail.ru

Поступила в редакцию: 18.06.2014 г.

Выполнен аналитический обзор исследований природы пожаров в лесах Сибири по материалам публикаций за последние 50 лет. Публикации свидетельствуют, что на начальном этапе лесопирологических исследований, примерно до 1970 г., основное внимание было сосредоточено на изучении природы пожаров в южно-таежных и горных лесах Западной и Средней Сибири, Алтая и Забайкалья. Следующий период, ориентировочно до конца 80-х гг., характеризуется более широким охватом проблем лесной пирологии, расширением географии работ. В последние 15–20 лет основное внимание уделялось изучению влияния пожаров на лесообразовательный процесс, лесопожарные эмиссии, баланс углерода, проблеме пожароуправления. В конце обзора определены основные направления и задачи дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** *исследования природы лесных пожаров, повышение пожароустойчивости лесов, влияние пожаров на лесообразование, пожароуправление, Сибирь.*

В лесах Сибири ежегодно возникает от 4.5 до 27 тыс. пожаров, которые охватывают площадь от 3.5 до 18 млн га. Динамика горимости лесов Сибири за последние годы показывает устойчивую тенденцию роста как числа пожаров, так и площади, пройденной ими. Есть основания полагать, что эта тенденция сохранится и в обозримом будущем. Основной причиной лесных пожаров является человек, по вине которого возникает 85–95 % случаев загораний. Ежегодный ущерб от лесных пожаров в Сибири, который складывается из затрат на борьбу с ними и убытков от самих пожаров, составляет 10–15 млрд руб. (Воробьев и др., 2004).

Пожары являются основным фактором нарушения лесных экосистем. Они приводят к потере сырьевого потенциала лесов, провоцируют возникновение почвенных эрозийных процессов, курумников (рис. 1), солифлюкции (рис. 2).

Увеличивается риск наводнений, происходит задымление атмосферы. Дым от крупных пожаров может распространяться по ветру на 700–900 км. Задымление территории дестабилизирует автомобильное, железнодорожное,

воздушное и речное сообщение, вызывает у людей аллергические реакции, заболевания органов дыхания.

Пожары нередко угрожают населенным пунктам, экономическим и специальным объектам. Острота проблемы усиливается тем, что в лесах или в непосредственной близости от них располагаются более 10 тыс. поселков, в которых проживают около 10 млн человек.

Несмотря на остроту и актуальность проблемы лесных пожаров, до конца 50-х гг. XX в. специальных лесопирологических исследований в Сибири не проводилось. Имели место лишь отдельные фрагментарные наблюдения, которые велись попутно с другими исследованиями.

В 1959 г. в составе Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР создана лаборатория лесной пирологии. Организатором лаборатории и первым ее заведующим был доктор сельскохозяйственных наук, профессор Николай Петрович Курбатский – известный ученый и замечательный человек (рис. 3).



Рис. 1. Курумник (фото А. П. Абаимова).



Рис. 2. Солифлюкция (фото А. С. Прокушкина).

Он прожил долгую, трудную и плодотворную жизнь. Им многое сделано в области фундаментальных и прикладных вопросов лесной пирологии, таксации, лесоведения. Он автор более 150 научных трудов, в том числе пяти монографий.

Чтобы успешно бороться с лесными пожарами, надо знать их природу, т. е. условия возникновения, распространения, развития и последствия. Знание природы пожаров служит теоретической основой для разработки методов, способов, техники и тактики их тушения. Поэтому профессор Н. П. Курбатский изначально основным направлением деятельности лаборатории определил исследование природы лесных пожаров.

На первых этапах лесопирологических исследований основное внимание было сосредоточено на изучении природы пожаров в различных регионах: в южно-таежных и горных лесах Западной и Средней Сибири, на Алтае и в Забайкалье. На основе экспериментальных и теоретических исследований Н. П. Курбатским (1963, 1964) созданы основы учения о

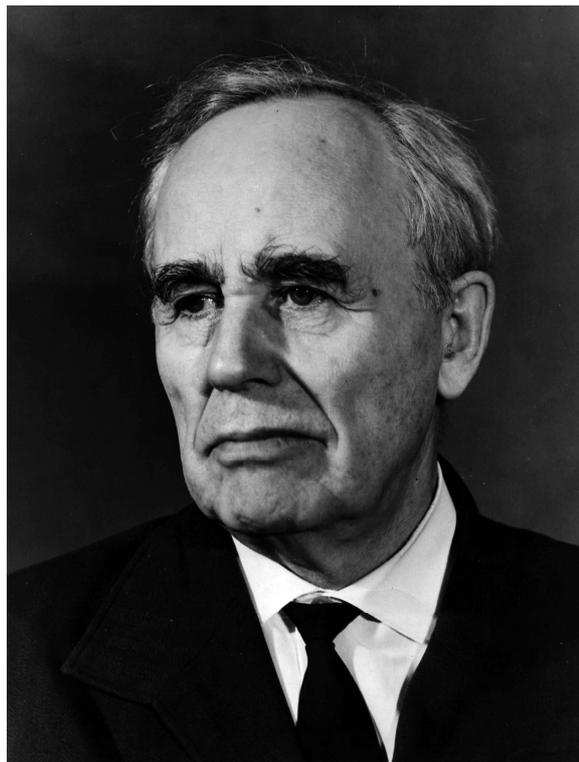


Рис. 3. Профессор Н. П. Курбатский.

возникновении и развитии пожаров в лесах таежной зоны. Доказана закономерная последовательность достижения лесами состояния, при котором они могут гореть, названное им состоянием «пожарной зрелости». Эта последовательность является одной из основных закономерностей, определяющих возникновение лесных пожаров.

Важным итогом изучения природы лесных пожаров того периода являются лесопожарное районирование территории Средней Сибири и Забайкалья, местные шкалы пожарной опасности лесов для Красноярского края, Тюменской области, Тывы, Иркутской области, Забайкалья, определение условий развития низовых пожаров в верховые, установление механизма продвижения пламени по пологу насаждения. Разработана классификация лесных пожаров и горючих материалов по их роли в возникновении и распространении горения. Результаты этих исследований обобщены в сборнике «Лесные пожары и борьба с ними» (1963).

С целью поиска новых, более эффективных средств и способов тушения пожаров были начаты фундаментальные исследования физики и химии горения напочвенного покрова в сосновых лесах. Определены основные про-

цессы, происходящие при тушении огня (Амосов, 1963). Предложена математическая модель горения слоя из сосновой хвои (Конев, 1970; Конев и др., 1974). Определены физико-химические основы процессов возникновения горения, распространения пламени по растительным горючим материалам, сгорания их и затухания фронта горения. Разработаны математические модели этих процессов, базирующиеся на теории тепломассопереноса (Конев, 1977). Проведены экспериментальные исследования зажигания сосновой хвои потоком горячего воздуха. Установлены два режима воспламенения – поверхностное и газовое, что связано с температурой потока и его скоростью (Исаков, 1974). Выделены стадии процесса зажигания лесных горючих материалов. Установлено, что определяющими являются стадии сушки и нагрева сухого горючего (Конев, 1975).

Большое значение имели исследования особенностей природы лесных пожаров в шелкопрядниках. В 60-е гг. XX в. на территории Западной Сибири насчитывалось более 4 млн га темнохвойных лесов, усохших в результате повреждения сибирским шелкопрядом. Эти леса были чрезвычайно пожароопасными. Только в 1960–1964 гг. в шелкопрядниках пожары охватили несколько десятков тысяч гектаров. В связи с этим проведены исследования возможности применения контролируемых выжиганий для очистки шелкопрядников, а также в целях профилактики и содействия естественному лесовозобновлению. На основании проведенных исследований были разработаны практические рекомендации по проведению выжиганий, одобренные Министерством лесного хозяйства РСФСР (Фуряев, 1966).

На возникновение, распространение и развитие лесных пожаров большое влияние оказывает ветер. Поэтому исследование трансформации ветровых потоков пожаром – весьма актуальный вопрос. Был изучен ветровой режим в зоне пожара, рассмотрено возникновение воздушных потоков под воздействием очага горения в штиль, трансформация их низовыми пожарами разной интенсивности. Важным практическим результатом этих исследований было установление расстояния появления встречной тяги воздуха перед

фронтом пожаров и оценка ее значения при тушении пожаров различными видами отжига (Валендик, 1968).

Особенности низовых пожаров в лиственных лесах Восточной Сибири исследованы А. С. Исаевым и А. И. Уткиным (1963). Ими установлено, что простое строение лиственныхников, высоко поднятые кроны и особенности пожарных периодов в регионе обуславливают преобладание низовых пожаров, на долю которых приходится более 95 % всех случаев. Отмечена связь с лесными пожарами грибных заболеваний, а также повреждений ослабленных огнем деревьев стволовыми вредителями. При этом как позитивный момент авторы отмечают, что пожары содействуют появлению естественного возобновления лиственныхницы.

Огромные территории в Сибири занимают горные леса. Борьба с лесными пожарами в горах особенно трудно, и они охватывают большие площади. Лесопожарные последствия здесь многогранны и крайне нежелательны, так как горные лесные экосистемы чрезвычайно чувствительны к воздействию внешних факторов, а экологическое значение их имеет трансгрессивный характер. Проблема лесных пожаров в горных лесах является очень актуальной, поэтому она стала предметом многолетних научных исследований (Софронов, 1967; Софронов и др., 2007; Софронов и др., 2008).

В результате проведенных работ установлена зависимость очередности возникновения пожаров от экспозиции склона, его крутизны и времени года. Выявлено, что пожар, достигший по склону водораздела, в дальнейшем чаще всего распространяется по хребту и спускается по южным и западным склонам, минуя лоцины, распадки и долины ручьев. Северные же склоны горят, как правило, только летом. Это послужило основой для дифференциации горных лесов юга Средней Сибири по их пожароопасности (Софронов, 1967). Оценивать горимость горных лесов необходимо по высотным поясам, при этом показатели горимости по отдельным высотно-поясным комплексам отличаются от средних в 5–10 раз и более (Смагин и др., 1980; Поликарпов и др., 1986).

Позднее проведены исследования по совершенствованию оценки пожарной опасно-

сти по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья (Софронова и др., 2007). На примере северного склона хр. Хамар-Дабан авторами разработан оригинальный метод экстраполяции метеорологических данных из нижней части лесного пояса в верхний. Это позволило давать более корректную ежедневную оценку пожарной опасности по условиям погоды, усовершенствовать методику составления местных шкал пожарной опасности.

Итогом многолетних исследований стала монография, обобщившая результаты работ по природе пожаров в горных лесах, включающая географические особенности горных лесов как объектов горения, закономерности распространения пожаров по рельефу, пирогенные сукцессии, способы контролирования пожаров в горах (Софронов и др., 2008).

Длительное комплексное изучение природы лесных пожаров и их последствий в горных лесах бассейна оз. Байкал и Восточного Забайкалья проведено М. Д. Евдокименко (1974, 1975, 1977, 1984, 1991, 2000, 2008, 2011). В результате установлено, что в условиях сложного горного рельефа и специфического климата пожары трансформируют лесные массивы по многообразным вариантам, которые трудно прогнозировать, в то время как от их стабильности зависит экологическое состояние всех ландшафтов в данном регионе. В процессе послепожарного лесовозобновления формируется сложная мелкоконтурная «чересполосица» группово- или куртинноразновозрастных древостоев. В аридных ландшафтах на юго-востоке Забайкалья интенсивные и часто повторяющиеся пожары усиливают общую тенденцию к обезлесиванию. Эпизодические сильные пожары в предгорных лиственничниках бассейна оз. Байкал приводят к понижению верхней границы леса (Леса..., 2008).

Проводя фундаментальные исследования, проф. Н. П. Курбатский неоднократно подчеркивал, что изучение природы лесных пожаров должно исходить из нужд практики охраны лесов. Поэтому наряду с фундаментальными велись и прикладные лесопожарные исследования. Важно отметить разработку стратегической концепции охраны лесов от пожаров в СССР (Курбатский, 1971, 1972*в*), техники и тактики тушения лесных пожаров, включая

крупные (Курбатский, 1962; Валендик, 1990). Разработаны различные варианты отжига, которые широко применяются при борьбе с лесными пожарами (Курбатский, 1972*а*). Созданы шланговые накладные и облегченные заряды, когда взрывчатка в виде шнура укладывается на поверхность почвы без заглабления в нее (Курбатский, Валендик, 1970). В результате взрыва образуется полоса с канавкой по середине, очищенная от горючих материалов, которая может служить опорным рубежом для пуска отжига при тушении верховых и сильных низовых пожаров. Предложена конструкция и разработана технология промышленного изготовления удлиненного шнурового заряда для создания заградительных полос. Созданы облегченные накладные заряды, которые были названы монозарядами (Курбатский, Валендик, 1975).

Позднее разработаны рекомендации по проведению контролируемых выжиганий на вырубках в низкогорных равнинных темнохвойных лесах (Валендик и др., 2000), по повышению пожароустойчивости лесов (Фуряев и др., 2005), по защите населенных пунктов от лесных пожаров (Волокитина, Софронова, 2011), по управлению действующими лесными пожарами (Волокитина и др., 2012), по охране от пожаров заболоченных лесов (Софронов, Волокитина, 2012) и др.

Каждая наука вырабатывает свой понятийный аппарат. Большую работу в этом отношении выполнил Н. П. Курбатский. Им разработана терминология лесной пирологии, представляющая собой систему, которая содержит 326 терминов и их определений (Курбатский, 1972*б*). Упорядочение терминологии было особенно необходимо в связи с развитием техники и тактики охраны лесов от пожаров и научной разработкой проблемы. Предложенная система терминов в значительной степени уменьшила разночтения понятий и терминологическую путаницу.

Период с начала 70-х до конца 80-х гг. XX в. характеризовался наиболее широким охватом проблем лесной пирологии, использованием аэрокосмических методов, математического моделирования, проведением лесопирологических исследований на ландшафтной основе. Исследования природы лесных

пожаров приобрело комплексный, междисциплинарный характер. К решению проблемы подключились ученые вузов, специалисты разного профиля. Для координации исследований проф. Н. П. Курбатским разработана целевая программа «Лесные пожары». В рамках этой программы получили развитие многие направления лесопожарных исследований.

Большое практическое значение имеет разработка средств и способов дистанционного получения информации о пожарном состоянии охраняемых территорий с целью мониторинга лесных пожаров. Это открыло широкие возможности для оперативной оценки метеословий, степени пожарной опасности лесного фонда, картографирования контуров пожаров через слой дыма и полог древостоя, обнаружения пожаров, определения их энергетических параметров и прогнозирования распространения, а также оценки послепожарного состояния лесов (Исаев, 1979; Валендик, 1979; Валендик и др., 1987; Sukhinin et al., 2004; Швецов, Сухинин, 2011). Наиболее эффективно данная задача может быть решена при комплексном анализе имеющихся банков данных различных уровней мониторинга – наземного и космического (Сухинин и др., 2006; Скудин и др., 2010).

Значимое достижение – разработка и введение в эксплуатацию в 2005 г. информационной системы дистанционного мониторинга состояния лесов (ИСДМ-Рослесхоз), основанной на использовании спутниковой информации.

Актуальным направлением в лесной пирологии является поиск путей и способов формирования устойчивых к огню насаждений, поскольку леса гибнут не только из-за их высокой природной пожарной опасности, но и из-за низкой пожароустойчивости (Фуряев, 1977). Под пожароустойчивостью автор понимает степень повреждаемости огнем различных компонентов биогеоценоза. При этом пожароустойчивость рассматривается не как стойкость к возникновению загорания, а как устойчивость к воздействию уже действующего пожара. Им определены основные факторы, обуславливающие степень повреждаемости насаждений при пожаре. К таковым относятся запасы горючих материалов, состав пород, строение древостоя, структура насаж-

дения, состав, густота, высота и характер размещения подроста и подлеска, состав и покрытие живого напочвенного покрова. Обоснован главный принцип повышения пожароустойчивости насаждений, который заключается в направленном регулировании перечисленных факторов системой лесоводственных и лесопожарных мероприятий. На основе проведенных исследований разработаны классификация сосновых лесов по степени их повреждаемости и шкала для оценки пожароустойчивости (Фуряев, 1978).

В лесном фонде страны наиболее пожароопасными являются массивы светлохвойных молодняков и лесных культур. Они гибнут от пожаров чаще всего. Поэтому для улучшения их охраны разработана система мероприятий, предусматривающая огневую очистку вырубок, сохранение при рубках ухода в молодняках примеси лиственных пород, расчленение молодняков противопожарными заслонами, применение профилактических регулируемых выжиганий (Фуряев, 1971, 1977).

Проведены исследования последствий лесных пожаров с использованием аэрокосмических методов и ландшафтной основы. Разработаны научно-методические основы дистанционного изучения послепожарного формирования лесов, оценки и картографирования пожароустойчивости насаждений (Фуряев, 1987, 1988). Автор справедливо полагает, что решение проблемы повышения пожароустойчивости насаждений позволит значительно повысить сохранность лесов.

В связи с тем, что природа лесных пожаров в различных регионах страны имеет свои особенности, разработано лесопожарное районирование государственного лесного фонда СССР (Софронов, 1980). В основе этого районирования лежит лесопирологическая характеристика территории гослесфонда, включающая условия возникновения, распространения и развития пожаров, их последствия и условия борьбы с ними. Автором выделены 52 лесопожарные области, которые охарактеризованы по рельефу, лесистости, заболоченности, преобладающим древесным породам. Дана оценка условиям распространения пожаров, горимости и лесопожарным последствиям.

При определенных лесорастительных условиях и синоптических ситуациях перед фронтальной кромкой крупных высокоинтенсивных пожаров образуются новые очаги горения. Они возникают в результате переноса горящих частиц (ветки, шишки, частицы коры и т. п.) конвекционными потоками на еще не горевшую площадь и пожар принимает форму пятнистого. Дальность переноса горящих частиц может достигать 200–300 м и более. В засушливую ветреную погоду на долю пятнистых пожаров приходится значительная доля площади, пройденной огнем, поэтому этот вопрос имеет большое практическое значение. Исследование возникновения пятнистой формы пожаров проведено П. М. Матвеевым (1975). Им установлено, что форму пятнистости пожар принимает в том случае, когда его интенсивность такова, что образующийся над ним конвекционный поток может поднять и перенести горящие частицы, время горения которых достаточно для зажигания напочвенного покрова. Предложено уравнение регрессии для расчета вероятности загорания.

Для разработки теоретических основ таежного лесоводства и оптимального ведения лесного хозяйства большое значение имеют исследования роли пожаров в формировании лесов на крупных таежных территориях. В результате многолетних комплексных исследований В. В. Фуряевым (1996) определены основные принципы и разработаны методы изучения послепожарного лесообразовательного процесса на ландшафтной основе с использованием аэрокосмических снимков. Детально рассмотрено комплексное воздействие пожаров на компоненты и экологические режимы природных территориальных комплексов (ПТК). Установлено, что возникновение пожаров, их интенсивность, распространение и развитие обусловлены экологическими режимами ПТК и их структурой, характером послепожарных сообществ и продолжительностью межпожарных интервалов. Доказано, что каждому ландшафту присущ определенный пирологический режим, который сопряжен с климатическими условиями, прежде всего – с повторяемостью экстремальных пожароопасных сезонов и возникновением крупных пожаров. Выявлена и оценена роль пожаров в лесообра-

зовательных процессах в границах крупных таежных территорий. На основе выявленных закономерностей повторяемости пожаров и послепожарных лесообразовательных процессов разработана система имитационного моделирования и долгосрочного прогнозирования послепожарной динамики лесов. Методические разработки автора являются новым направлением в исследовании воздействия пожаров на формирование лесов крупных таежных регионов, в изучении роли пирогенного фактора в лесообразовательном процессе.

В. Н. Седыхом (2009) дана оценка особенностям процесса лесообразования после пожаров в Западной Сибири. Он обнаружил, что разрушение пожарами древостоя и напочвенного покрова в северных лесах благоприятствует поселению древесных растений, создает подходящие условия для развития лесообразовательного процесса, а также показал, что лесные пожары в регионе выступают в роли своеобразного заслона на пути развития болото-, тундро- и лугообразовательных процессов, стимулируя процесс лесообразования. Огонь, как фактор, наиболее распространенный в природе, в течение длительного эволюционного развития лесов создавал в них условия для возникновения и закрепления механизмов лесообразования такого типа, которые бы обеспечивали успешное восстановление лесов и их длительное существование.

Исследование роли пожаров в лесообразовательных процессах необходимо и для принятия оптимальных решений по управлению пожарами. При этом в каждом случае необходимо располагать знаниями об экосистемах, характере поведения в них пожаров, многолетних пирологических режимах в прошлом, лесоводственных, экологических и экономических последствиях воздействия огня на компоненты экосистем и их динамику в целом. Эти исследования соответствуют мировым тенденциям развития лесной пирологии как науки. Практическое значение исследований заключается в том, что в результате будет создана информационная основа, востребованность которой для управления пирогенными факторами чрезвычайно высока (Фуряев, 1996).

Большой проблемой для лесного хозяйства России являются крупные пожары – площадью

более 25 га в зоне наземной и более 200 га – в зоне авиационной охраны лесов. Хотя число крупных пожаров составляет всего 3–5 %, площадь, пройденная ими, достигает 70 %. Поэтому проведены исследования природы крупных лесных пожаров и на этой основе разработана система мероприятий по борьбе с ними. Выявлены условия возникновения и особенности их распространения в связи с климатическими и лесорастительными характеристиками. Разработаны дистанционные методы оценки текущей природной пожарной опасности лесов и разведки крупных пожаров (Валендик, 1985, 1990).

Конец XX в. характеризуется большим интересом, проявленным международным научным сообществом к исследованиям проблемы пожаров в лесах России. Были организованы международные конференции, на которых подведены итоги исследований по лесной пирологии и намечена широкая программа работ в бореальных лесах Евразии и Северной Америки. Итогом конференции стала монографическая сводка «Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia» (Eds. J. G. Goldammer and V. V. Furyayev), опубликованная в издательстве Kluwer Academic Publishers в 1996 г. Конференции и названная монография вызвали большой интерес среди мирового научного сообщества и стимулировали целый ряд международных проектов и соглашений по исследованию роли пожаров в формировании бореальных лесов и их вклада в глобальные циклы углерода.

Начало третьего тысячелетия отмечено сменой парадигмы в охране лесов от пожаров и, соответственно, в лесной пирологии. Многолетняя практика показала, что простое увеличение финансовых и материальных вложений в охрану лесов не приводит к адекватному снижению горимости. Сложность экологической роли огня, невозможность и нецелесообразность его полного исключения из жизни леса обуславливают необходимость решения проблемы лесных пожаров путем создания системы управления ими. Поэтому в новой экономической ситуации при недостатке финансирования и большом разнообразии природно-экономических условий необходим переход на государственном уровне от концепции пожаротушения, предусматривающей

обязательную борьбу со всеми возникшими пожарами, к концепции пожароуправления. Эта концепция базируется на принципах приоритетно-выборочной очередности тушения пожаров и предполагает дифференциацию уровней охраны лесов.

В США и Канаде уже существуют национальные системы по прогнозированию поведения лесных пожаров (в США – система «Behave», в Канаде – система «Fire Behave Prediction»). В России разработана система пирологических характеристик и оценок как основа управления пожарами в бореальных лесах (Софронов, 1998). Данная система включает характеристики и оценки, по которым можно судить о вероятности возникновения пожара, об условиях распространения горения по площади, о возможных его последствиях. Система является методологической и методической основой информационной базы для прогноза поведения пожаров и их последствий.

Позднее разработана система прогноза поведения пожаров, которая положена в основу системы пожароуправления (Волокитина и др., 2007, 2012).

Под пожароуправлением понимается проведение системы научно обоснованных противопожарных мероприятий, направленных на предупреждение возникновения и распространения пожаров, способов и тактики тушения, уменьшения негативных последствий.

Пожароуправление рассматривается в широком и в узком смысле (Волокитина и др., 2007). В широком смысле – это совершенствование противопожарного устройства лесов, устранение причин возникновения пожаров, создание благоприятных условий для своевременного их обнаружения и борьбы с ними. Управление пожарами в узком смысле понимается как контролирование развития уже возникших пожаров на основе прогноза их поведения и последствий.

Для прогноза поведения лесных пожаров в системе ГИС разработана компьютерная программа (Волокитина и др., 2012), в которой используется модель М. А. Софронова (Софронов, 1967; Волокитина и др., 2007). С помощью прогноза можно выявлять пожары различной потенциальной опасности, что

служит основой для реализации принципа приоритетно-выборочного их тушения.

Для прогнозирования распространения, развития и последствий пожаров необходимы сведения о распределении комплексов растительных горючих материалов (РГМ) по территории и состоянию их пожарной зрелости. Наряду с погодными условиями, рельефом местности, типами леса и другими данными прогнозирование поведения пожаров составляет информационную базу пожароуправления. При формировании информационной базы для системы прогноза поведения и последствий лесных пожаров разработаны научные основы и методология разномасштабного картографирования РГМ, а также использования карт при прогнозировании поведения пожаров, включая компьютерные технологии (Волокитина, Софронов, 2002). Разработана детальная классификация РГМ, развивающая классификацию лесных горючих материалов Н. П. Курбатского (1970).

Успешное контролирование пожарных ситуаций и управление ими невозможно без корректной оценки пожарной опасности в природных условиях. Понятие «пожарная опасность в природных условиях» является сложным и многогранным. Оно включает вероятность возникновения пожаров на конкретном участке за определенный период времени, а также величину возможного ущерба от них (Софронов и др., 2005). Значение вероятности возникновения пожаров авторы определяют величиной площади и продолжительностью периода, для которого оценивается эта вероятность. Ими предложена пространственно-временная классификация пожарной опасности с выделением ее видов.

Огромные территории занимают притундровые леса, произрастающие в зоне многолетней мерзлоты (криолитозоне). В Сибири они простираются более чем на 7 тыс. км и охватывают площадь около 53 млн га. Доминирующей древесной породой является лиственница. Хозяйственное освоение северных территорий увеличивает вероятность возникновения пожаров и повышения горимости лесов. Пожары здесь отличаются спецификой в силу своеобразия почвенно-климатических условий и лесных экосистем, повышенных запасов го-

рючих материалов, смещения пожарного максимума на летние месяцы. Комплексные исследования природы лесных пожаров в зоне многолетней мерзлоты были начаты в Якутии и на севере Красноярского края (Яковлев, 1975; Щербаков и др., 1979; Курбатский, Цветков, 1987; Софронов, Волокитина, 1996; Матвеев, 1992, 2006; Цветков, 1991, 1996, 2004, 2005, 2007). Авторами впервые установлены основные особенности возникновения, распространения, развития и последствий пожаров в лесах криолитозоны.

В Якутии выполнена большая по объему, значимости и новизне работа, в результате которой получены новые знания о роли лесных пожаров в формировании и развитии лесной растительности. Исследована пожароопасность сосновых и лиственничных лесов юго-запада Якутии по ходу погодных условий и природным характеристикам доминирующих типов леса. Прослежена динамика пирологических свойств лесных горючих материалов на протяжении вегетационного периода. На этой основе разработана их классификация (Щербаков и др., 1979). Ранее А. И. Уткин (1965) установил, что по отношению к лесной растительности Центральной Якутии пирогенный фактор является одним из главных, который определяет не только состояние лесов, но и весь ход их развития от возобновления до распада древостоев.

П. М. Матвеевым (1992, 2006) для трех мерзлотных поясов изучено влияние пожаров на лиственничники и естественное возобновление в них, на живой напочвенный покров, почву и фауну. Оценивая роль пожаров в лесах криолитозоны, автор указывал, что сильные пожары, как правило, губительны для лиственничников. Слабые же, а иногда и средние по силе пожары могут оказывать положительное влияние на отдельные компоненты лесных биогеоценозов.

В лесных экосистемах крайнего северо-востока Сибири исследованы региональные особенности природы пожаров, разработана концепция по тактике и технологии их тушения в лиственничниках и зарослях кедрового стланика (Сныткин, 2002).

В северной тайге Средней Сибири, на территории Эвенкии, проведены многолетние ис-

следования устойчивости лиственницы Гмелина к пожарам, которая является здесь основной лесообразующей породой (Цветков, 2004, 2005, 2007). Разработано представление о пирогенных свойствах вида как комплексе морфологических и физиолого-биохимических адаптаций, выработанных под воздействием пожаров в процессе эволюции. Это понятие интегрирует огнестойкость деревьев, пожароустойчивость насаждений и пирофитность формаций в определенное единство – адаптивный потенциал, представляющий собой способность древесной породы приспосабливаться к прямому и косвенному воздействию пожаров на организменном, ценотическом и экосистемном уровнях. Доказана низкая огнестойкость деревьев и пожароустойчивость насаждений лиственницы Гмелина, ее высокая пирофитность, которая означает хорошую биоэкологическую адаптацию к условиям гаревого экотопа и выражается в способности заселять площади гарей. Пирофитность лиственницы Гмелина играет ключевую роль в сохранении ее как биологического вида на севере Средней Сибири (рис. 4).

Выявлено, что природная пожарная опасность северо-таежных лиственничников высокая (Абаимов и др., 1990; Цветков, 1996). Она обусловлена многими факторами, прежде всего природными особенностями территории. Здесь господствует континентальный климат с длительными, засушливыми периодами. В сочетании с доминированием наиболее пожароопасных светлохвойных лесов (более 80 % покрытых лесом земель) это привело к тому,



**Рис. 4.** Возобновление лиственницы Гмелина на гарях (фото А. П. Абаимова).

что около 83 % площади лесного фонда относится к I–III классам природной пожарной опасности, а средний ее класс равен II. Такая ситуация объясняется абсолютным преобладанием монодоминантных лиственничников кустарничково-лишайниковых и кустарничково-зеленомошных типов леса, занимающих более 70 % покрытых лесной растительностью земель.

Многочисленные наблюдения показывают, что пожароустойчивость насаждений в значительной степени зависит от исходного жизненного состояния древостоя. Чем ниже его жизнеспособность в момент пожара, тем ниже и пожароустойчивость, так как ослабленные деревья и древостои более чувствительны к воздействию огня (Абаимов и др., 2004; Цветков, 2007).

Комплексные лесопожарные исследования проведены в сосняках Средней Сибири, в результате которых определены зонально-экологические особенности пожаров в них. Необходимость этих исследований обусловлена тем, что на сосновые леса приходится более половины всех возникших в лесном фонде России пожаров.

В Сибири сосняки составляют до 30 % от площади хвойных лесов. В результате исследований получены новые данные о периодичности лесных пожаров, дана оценка природной пожарной опасности сосновых лесов и определены особенности формирования комплексов лесных горючих материалов в различных лесорастительных зонах. Раскрыт механизм влияния живого напочвенного покрова



**Рис. 5.** Взятие образцов эмиссий при пожаре в сосновом насаждении (фото С. Конард).

на возникновение и распространение пожаров в сосняках (Иванова, 2005).

Получены экспериментальные данные по объему прямых эмиссий при пожарах разной интенсивности в сосняках и южно-таежных смешанных лиственничниках. Количественные и качественные данные по допожарному состоянию лесов и параметрам пожаров позволяют оценить воздействие огня на компоненты экосистемы и баланс углерода как непосредственно при пожаре, так и в послепожарный период. Заложенный долговременный эксперимент в сосняках и смешанных лиственничниках позволил впервые получить данные о начальном этапе сукцессии после пожаров с количественными параметрами их поведения (рис. 5).

Эмиссия углерода в лиственничниках составила от 2.4 т/га при пожаре слабой интенсивности ( $< 2000$  кВт/м) до 15.9 т/га при пожаре высокой интенсивности ( $> 4000$  кВт/м) при учете только сгоревших напочвенных горючих материалов (Иванова и др., 2007; Ivanova et al., 2011).

Светлохвойные леса юга Средней Сибири, на долю которых приходится около 60 % покрытой лесом площади, горят особенно часто. В них обычно возникают сильные пожары, которые коренным образом трансформируют формирование лесов. На рубеже третьего тысячелетия в этой части Сибири исследованы закономерности влияния пожаров на состав и структуру светлохвойных древостоев, послепожарный отпад в них, процессы естественного возобновления в различных лесорастительных условиях (Буряк и др., 2003). Выявлены территориальные особенности воздействия огня на формирование сосняков и лиственничников. Установлено, что при пожарах чаще гибнут крайние по размерам деревья. На основе этого сделан вывод о том, что низовые пожары стабилизируют популяцию вблизи средних форм, наиболее адаптированных к лесорастительным условиям.

Исследования, проведенные в среднетаежных лиственничниках Красноярского края, показали, что послепожарный отпад в горных лесах выше, чем в равнинных. Это обусловлено увеличением интенсивности горения на склонах и поверхностным расположением

корневых систем. При этом величина отпада на теневых склонах выше, чем на световых (Бакшеева и др., 2003). Авторами установлено влияние пожаров на химизм лесных почв, что проявляется в снижении их кислотности, улучшении лесорастительных свойств, повышении продуктивности фитоценозов. Сроки восстановления лиственницы на горях составляют 30–50 лет.

Разработана классификация лесных территорий Восточной Сибири по видам вероятных пожаров в зависимости от пирологических условий и таксационных характеристик насаждений (Михалев и др., 2003). Дана оценка пирологической структуры земель лесного фонда (Михалев, Ряполова, 2003). По утверждению авторов, предлагаемая ими технология оценки лесопирологических характеристик выделов с использованием лесных ГИС позволяет объективно определить природную пожарную опасность лесных участков. Это имеет большое значение для совершенствования противопожарного устройства лесов.

На основе оценки пожарной опасности территории по лесорастительным и погодным условиям, а также антропогенной пожарной опасности разработана комплексная оценка пожарной опасности в лесу (Андреев, 1999). Практическим выходом данной разработки явились номограммы для определения возможного вида и интенсивности пожаров, среднесуточного их числа, а также вероятного послепожарного отпада деревьев.

Многие исследования подтвердили, что пожары существенно изменили облик таежных лесов Средней Сибири. На громадных территориях Среднесибирского плоскогорья в результате пирогенного воздействия произошла смена темнохвойных пород на светлохвойные, образовались обширные площади производных лиственных лесов. При неоднократном повторении пожаров формируются разновозрастные древостои (Побединский, 1965). Под изреженным материнским пологом и в образовавшихся «окнах» создаются условия для появления и развития подроста. В Приангарье относительно частые низовые пожары препятствуют восстановлению ели, пихты, кедра, постоянно уничтожая их подрост и вто-

рой ярус в современных сосняках и лиственничниках (Бузыкин, Пшеничникова, 1980).

Многолетние исследования по определению устойчивости древесных пород к повреждению лесными пожарами проведены Г. И. Гирс (1973, 1982). Ею установлены величины сублетальных и летальных температур, выявлены механизмы устойчивости древесных растений к тепловым воздействиям при лесных пожарах. Доказано, что устойчивость дерева к огню находится в обратной зависимости от площади повреждения флоэмы ствола, которая очень чувствительна к термическому воздействию. Отмирание клеток начинается при температуре едва превышающей 50 °С. После частичного повреждения камбиальных тканей на травмированной части ствола образуется пожарная подсушина, но дерево сохраняет жизнеспособность. При более значительном по интенсивности огневом воздействии происходит кольцевая (полная) гибель камбия и последующее отмирание дерева. Отмечено также, что опал кроны смертелен почти для всех хвойных пород, исключение составляет лиственница, способная частично восстанавливать хвою из спящих почек.

Изучен механизм воздействия тепловых потоков пожара на вегетативные органы деревьев, выявлена относительная теплостойкость хвойных пород разного возраста и диаметра. Полученные результаты дают возможность прогнозировать послепожарное состояние деревьев и древостоев (Валендик и др., 2006).

Практика показывает, что около 70 % всех пожаров возникает на вырубках. В лесном фонде Сибири за последнее время их накопилось около 10 млн га. Известно, что захлапленные рубки служат очагами размножения насекомых-вредителей, а также фитопатогенов. Порубочные остатки затрудняют естественное возобновление леса. Неочищенные места рубок являются очень опасными в пожарном отношении. Тушить пожары на таких вырубках чрезвычайно трудно. Исследованиями рубок в темнохвойных равнинных и горных лесах определены их состояние, степень захлапленности, обуславливающие величину природной пожарной опасности и успешность лесовосстановления. Полученные материалы позволили определить основные

требования к подбору рубок для контролируемых выжиганий, оптимальные условия их проведения по сочетанию погоды и способов выжигания, разработать методы и технологии применения управляемого огня (Валендик и др., 2000, 2001, 2011). Результаты опытно-производственных выжиганий на рубках в темнохвойных и сосновых лесах подтвердили возможность снижения их пожарной опасности, создания условий для лесовосстановления, показали высокую эффективность применения контролируемого огня в лесах, поврежденных энтомофагами.

Определены запасы напочвенных горючих материалов и рассчитаны эмиссии углерода при пожарах в насаждениях и на рубках в Нижнем Приангарье, Восточном Забайкалье и в ленточных борах Красноярского края. Установлено, что эмиссия углерода при пожарах в насаждениях различных регионов Сибири варьировала от 0.7 до 25.0 тС/га. Максимальная эмиссия углерода зарегистрирована при пожарах на рубках в Нижнем Приангарье (до 40.9 тС/га) и при повторных пожарах в насаждениях Забайкалья – до 28.8 тС/га (Kukavskaya et al., 2013).

Особый статус имеют ленточные боры Алтая, выполняющие функции защитного фильтра и экологического стабилизатора. Они испытывают высокую антропогенную нагрузку, что предопределяет повышенную пожарную опасность. Горимость лесов Алтайского края за последние 50 лет по сравнению с другими территориями Алтае-Саянского экорегиона была самая высокая. Практически все исследователи, занимающиеся изучением пожаров и их последствий в ленточных борах Алтая, отмечают значительный рост горимости в последние десятилетия и сокращение площадей, покрытых лесной растительностью (Ишутин, 2004; Куприянов, 2009). Экстремальные условия, возникающие в почвах крупноплощадных горельников, и анализ восстановительных стадий сукцессии позволяют говорить о наличии общей тенденции к остепнению, а при активном антропогенном воздействии – и к опустыниванию таких гарей (Макарычев и др., 2004). В связи с этим проблема сохранения ленточных боров является весьма актуальной и обуславливает необходимость ис-

следования природы пожаров в них. Многолетний опыт показывает, что длительность пожароопасного сезона в ленточных борах составляет 6–7 мес. Исследовано влияние низовых пожаров на основные компоненты сосновых насаждений, дана оценка отпада в древостоях, численности и состояния естественного возобновления сосны после пожаров различной интенсивности. Установлено, что характер лесовозобновления зависит от вида, формы и силы пожара, площади, пройденной огнем, типа леса. Лесовозобновительный процесс на гарях растягивается на 3–15 лет и более. При этом большое значение имеет площадь гари. Если она не превышает 10 га, то лесовозобновление обычно удовлетворительное (Зленко, Ключников, 2013).

Установлено, что сложная ситуация складывается в ленточных борах других регионов юга Сибири (Буряк и др., 2011). За последние десятилетия произошло значительное сокращение площадей сосновых массивов за счет остепнения крупных участков гарей. Особенно ярко эти процессы выражены в Цасучейском и Балгазынских борах, произрастающих в экстремальных условиях. В случае дальнейшего потепления климата такие последствия ожидаются и в более северных ленточных борах юга Красноярского края.

Исследованы пространственно-временные закономерности возникновения пожаров в экстремальных условиях ленточных боров Кулундинской степи, разработана стратегия повышения их пожароустойчивости (Черных, Фуряев, 2011).

Исследования, посвященные влиянию лесных пожаров на естественное возобновление сосны обыкновенной, проведены на зонально-географической основе в Западной Сибири (Санников, 1981, 1992; Санников, Санникова, 1985; Санников и др., 2004). Показана роль пожаров как эколого-эволюционного фактора, как важной движущей силы микроэволюции и филоценогенеза, как экологического механизма эволюционного процесса. Вскрыта роль пожаров как фактора импульсной стабильности и продуктивности сосновых лесов. Доказано, что пожар в первые годы создает благоприятную для самосева светлохвойных и лиственных видов экологическую нишу, в которой

все важнейшие параметры среды близки к оптимальным.

Большую проблему представляют лесные пожары, возникшие от гроз. В лесах Средней Сибири возникает в среднем более 1000 пожаров от разрядов молний в год (Иванов, Иванова, 2010). В результате многолетних исследований природы пожаров от гроз раскрыт механизм их возникновения и развития в различных лесорастительных условиях. На основе экспериментальных данных определено критическое влагосодержание лесных горючих материалов, при котором они способны загораться от молний. Установлена связь частоты пожаров от разрядов молний с гранулометрическим составом почвы и геомагнитными аномалиями территории. Показано, что гранулометрический состав почв в сочетании с условиями местопроизрастания и тока молнии предопределяет радиус зоны образования искр вокруг дерева, пораженного молнией. Сильное же аномальное магнитное поле увеличивает вероятность появления гроз на данной территории. Результаты проведенных исследований позволили авторам разработать методы классификации лесного фонда по степени пожарной опасности от гроз для прогнозирования возникновения лесных пожаров.

Подводя итоги обзора основных публикаций за последние 50 лет, можно отметить, что проведен ряд комплексных, фундаментальных исследований природы пожаров в лесах Сибири, которыми охвачена практически вся огромная территория региона. Основным результатом проведенных работ можно считать создание учения о возникновении, распространении и развитии пожаров, а также их последствий в лесах таежной зоны. Доказана закономерная последовательность достижения лесами состояния, при котором они могут гореть, что является одной из закономерностей, обуславливающих возникновение лесных пожаров. Определены условия развития низовых пожаров в верховые, установлен механизм продвижения пламени по пологу насаждения.

Разработана классификация лесных пожаров и горючих материалов по их роли в возникновении и распространении горения. Выполнено лесопожарное районирование государственно-

го лесного фонда страны. Обоснована необходимость создания местных шкал пожарной опасности лесов, разработана методология их использования. Для корректной оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах создан оригинальный метод экстраполяции метеорологических данных из нижней части горного лесного пояса в верхний.

Результаты исследований природы пожаров в лесах Сибири стали основой для ряда крупных прикладных разработок, таких как стратегическая концепция охраны лесов от пожаров, техника и тактика тушения лесных пожаров, включая крупные, различные варианты отжига для борьбы с верховыми и сильными низовыми пожарами, шланговые накладные заряды для прокладки опорных полос. Большое практическое значение имеет поиск путей и способов формирования устойчивых к огню насаждений. Определены основные пирологические принципы и разработаны методы повышения пожароустойчивости лесов. Разработана классификация сосновых лесов по степени их повреждаемости.

Выработана методология изучения послепожарного лесообразовательного процесса на ландшафтной основе с использованием аэрокосмических снимков. Выявлены условия возникновения и особенности распространения крупных лесных пожаров с использованием средств и способов дистанционного получения информации о пожарном состоянии охраняемых территорий с целью мониторинга лесных пожаров.

Разработана система пирологических характеристик и оценок как основа управления пожарами в бореальных лесах. Создана система прогнозирования поведения пожаров с использованием ГИС-технологий как важнейшая составляющая стратегии пожароуправления.

Получены данные о периодичности лесных пожаров, дана оценка природной пожарной опасности сосновых лесов и особенностей формирования комплексов лесных горючих материалов в различных лесорастительных зонах. Раскрыт механизм влияния живого напочвенного покрова на возникновение и распространение пожаров в сосняках Красноярской лесостепи.

Получены экспериментальные данные по объему прямых эмиссий при лесных пожарах разной интенсивности в сосняках и южно-таежных смешанных лиственничниках, которые позволяют оценить воздействие огня на компоненты экосистемы и баланс углерода как непосредственно при пожаре, так и в послепожарный период.

Выявлены основные особенности возникновения, распространения, развития и последствий пожаров в лиственничниках криолитозоны. Разработано представление о пирогенных свойствах древесных пород как комплексе морфологических и физиолого-биохимических адаптаций, выработанных под воздействием пожаров в процессе эволюции.

Раскрыт механизм возникновения и развития пожаров от гроз в различных лесорастительных условиях.

Несмотря на существенные достижения в исследовании природы лесных пожаров в Сибири, современная лесная пирология пока еще не разработала целостного представления о пожаре как сложном эколого-эволюционном факторе формирования и существования лесов. Для этого необходимы дальнейшие комплексные, междисциплинарные исследования, направленные на изучение природы пожаров с целью снижения их пожарной опасности, повышения пожароустойчивости, прогноза поведения, оценки воздействия на баланс углерода, компоненты лесных биогеоценозов и др. Из основных, наиболее назревших задач можно назвать следующие:

1. Исследование биосферной роли лесных пожаров, оценка воздействия на эмиссии, структуру и функционирование лесных экосистем Сибири.

2. Исследование значения пирогенного фактора в лесообразовательном процессе с целью сохранения биоразнообразия, поддержания исторически свойственных типов динамики растительности в лесном фонде.

3. Исследование условий и процессов горения лесных экосистем и разработка российской системы прогноза поведения пожаров.

4. Обоснование новой пожарно-стратегической концепции управления пирогенным фактором.

5. Совершенствование методов повышения пожароустойчивости особо ценных лесных массивов.

6. Разработка методов и технологии мониторинга пожарной опасности лесов и их послепожарного состояния. Оценка и прогнозирование параметров крупных лесных пожаров.

7. Лесопожарная оценка основных лесохозяйственных мероприятий, включая рубки леса, создание лесных культур, рекреационное лесопользование.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П., Бондарев А. И., Цветков П. А.* Краткий очерк лесов северо-востока Эвенкии // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие. Ч. II. М., 1990. С. 3–12.
- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Суховольский В. Г., Овчинникова Т. М.* Оценка и прогноз послепожарного состояния лиственницы Гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири // Лесоведение. 2004. № 2. С. 3–11.
- Амосов Г. А.* Основы и перспективы поисков новых химических средств тушения лесных пожаров // Лесные пожары и борьба с ними. М., 1963. С. 139–157.
- Андреев Ю. А.* Население и лесные пожары в Нижнем Приангарье. Красноярск, 1999. 96 с.
- Бакшеева Е. О., Матвеев А. М., Матвеев П. М. и др.* Влияние низовых пожаров на возобновление в среднетаежных лиственничниках Красноярского края. Красноярск: СибГТУ, 2003. 192 с.
- Бузыкин А. И., Пишеничникова Л. С.* Формирование сосново-лиственных молодняков. Новосибирск, 1980. 175 с.
- Буряк Л. В., Каленская О. П., Сухинин А. И., Пономарев Е. И.* Последствия пожаров в ленточных борах юга Сибири // Сиб. экол. журн. 2011. № 3. С. 135–140.
- Буряк Л. В., Лузганов А. Г., Матвеев П. М. и др.* Влияние низовых пожаров на формирование светлохвойных насаждений юга Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, 2003. 196 с.
- Валендик Э. Н.* Ветер и лесной пожар. М.: Наука, 1968. 119 с.
- Валендик Э. Н.* Дистанционные методы в решении проблемы лесных пожаров // Исследование таежных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 168–182.
- Валендик Э. Н.* Крупные лесные пожары и борьба с ними: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1985. 46 с.
- Валендик Э. Н.* Борьба с крупными лесными пожарами. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 193 с.
- Валендик Э. Н., Векшин В. Н., Верховец С. В. и др.* Управляемый огонь на вырубках в темнохвойных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 211 с.
- Валендик Э. Н., Векшин В. Н., Иванова Г. А. и др.* Контролируемые выжигания на рубках в горных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 172 с.
- Валендик Э. Н., Верховец С. В., Кисляхов Е. К. и др.* Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири. Красноярск, 2011. 160 с.
- Валендик Э. Н., Сухинин А. И., Кисляхов Е. К., Хребтов Б. А.* Мониторинг лесных пожаров // Исследование лесов аэрокосмическими методами. М.: Наука, 1987. С. 118–135.
- Валендик Э. Н., Сухинин А. И., Косов И. В.* Влияние низовых пожаров на устойчивость хвойных пород. Красноярск, 2006. 96 с.
- Волокитина А. В., Корец М. А., Софронова Т. М.* Управление действующими лесными пожарами (методические рекомендации). Красноярск, 2012. 78 с.
- Волокитина А. В., Софронов М. А.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 312 с.
- Волокитина А. В., Софронов М. А., Софронова Т. М.* Охрана лесов от пожаров. Учеб. пособие. Красноярск, 2007. 124 с.
- Волокитина А. В., Софронова Т. М.* Защита населенных пунктов от лесных пожаров (практические рекомендации). Красноярск, 2011. 71 с.
- Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И.* Лесные пожары на территории России. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.

- Гирс Г. И.* Проблема устойчивости хвойных растений к воздействию высокой температуры // Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1973. С. 197–206.
- Гирс Г. И.* Физиология ослабленного дерева. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 255 с.
- Евдокименко М. Д.* Жизнеспособность деревьев после низового пожара // Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1974. С. 167–196.
- Евдокименко М. Д.* Огневые повреждения сосняков рододендроновых в Забайкалье // Проблемы лесной пирологии. Красноярск, 1975. С. 207–220.
- Евдокименко М. Д.* Пирологическая характеристика горной тайги в бассейне оз. Байкал // Охрана и восстановление лесов Забайкалья. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1977. С. 5–55.
- Евдокименко М. Д.* Влияние лесных пожаров на продуктивность древостоев // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1984. С. 56–65.
- Евдокименко М. Д.* Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал // Лесоведение. 1991. № 5. С. 14–25.
- Евдокименко М. Д.* Пирогенные аномалии в лесах Забайкалья и их прогнозирование // География и природ. ресурсы. 2000. № 4. С. 64–71.
- Евдокименко М. Д.* Пирогенная дигрессия светлохвойных лесов Забайкалья // Там же. 2008. № 2. С. 109–115.
- Евдокименко М. Д.* Лесозоологические последствия пожаров в светлохвойных лесах Забайкалья // Экология. 2011. № 3. С. 191–196.
- Зленко Л. В., Ключников М. В.* Влияние низовых пожаров на возобновление сосны в Приобском левобережном районе Алтая. Красноярск: СибГТУ, 2013. 115 с.
- Иванов В. А., Иванова Г. А.* Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2010. 164 с.
- Иванова Г. А.* Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 40 с.
- Иванова Г. А., Иванов В. А., Кукавская Е. А.* Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2007. № 6. С. 885–895.
- Исаев А. С.* Задачи изучения лесов с использованием аэрокосмических средств // Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 3–10.
- Исаев А. С., Уткин А. И.* Низовые пожары в лиственничных лесах Восточной Сибири и значение стволовых вредителей в послепожарном состоянии древостоя // Защита лесов Сибири от насекомых-вредителей. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 118–182.
- Исаков Р. В.* Воспламенение элементов лесного горючего горячим газом // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1974. С. 50–64.
- Ишутин Я. Н.* Лесовосстановление на горячах в ленточных борах Алтая. Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2004. 112 с.
- Конев Э. В.* К расчету скорости распространения горения по напочвенному покрову в хвойных лесах // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 220–231.
- Конев Э. В.* О зажигании лесных горючих материалов // Проблемы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 80–92.
- Конев Э. В.* Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 240 с.
- Конев Э. В., Сухинин А. И., Кисляхов Е. К.* О горении напочвенного покрова в сосновых лесах // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1974. С. 41–49.
- Куприянов А. Н.* Влияние повторных пожаров на восстановление сосновых насаждений в равнинной части Алтайского края // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2009. С. 102–104.
- Курбатский Н. П.* Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 155 с.
- Курбатский Н. П.* Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам // Лес-

- ные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–30.
- Курбатский Н. П.* Пожары тайги. Закономерности их возникновения и развития: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск, ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1964. 38 с.
- Курбатский Н. П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Курбатский Н. П.* О стратегии, технике и тактике охраны лесов от пожаров // Лесн. хозяйство. 1971. № 6. С. 64–68.
- Курбатский Н. П.* Виды отжига и их применение для локализации лесных пожаров // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1972а. С. 153–163.
- Курбатский Н. П.* Терминология лесной пирологии // Там же. 1972б. С. 172–231.
- Курбатский Н. П., Валендик Э. Н.* Локализация лесных пожаров накладными шнуровыми зарядами // Там же. 1970. С. 320–339.
- Курбатский Н. П., Валендик Э. Н.* Шланговые и монозаряды для борьбы с лесными пожарами // Проблемы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 149–164.
- Курбатский Н. П., Цветков П. А.* Задачи исследования природы пожаров в лесах на вечной мерзлоте // Лесные пожары и борьба с ними. М., 1987. С. 92–104.
- Леса бассейна Байкала (состояние, использование и охрана) / под ред. А. А. Онучина. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. 245 с.
- Лесные пожары и борьба с ними / под ред. Н. П. Курбатского. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 164 с.
- Макарычев С. В.* Почвенно-физические условия лесовосстановления в горельниках юго-западной части ленточных боров Алтайского края // Восстановление нарушенных ландшафтов. Барнаул, 2004. С. 59–65.
- Матвеев П. М.* Вероятность пятнистых загораний при лесных пожарах // Проблемы лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 44–65.
- Матвеев П. М.* Последствия пожаров в листовенных биогеоценозах на многолетней мерзлоте: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Йошкар-Ола: Марийский политехн. ин-т, 1992. 49 с.
- Матвеев П. М.* Последствия пожаров в листовенных биогеоценозах на многолетней мерзлоте. Красноярск, 2006. 269 с.
- Михалев Ю. А., Ряполова Л. М.* Оценка пирологической структуры земель лесного фонда // Там же. С. 84–94.
- Михалев Ю. А., Ряполова Л. М., Федоров Е. Н., Золотухина Л. П.* Классификация лесных территорий по видам вероятных пожаров // Охрана лесов от пожаров, лесовосстановление и лесопользование. Красноярск, 2003. С. 79–83.
- Побединский А. В.* Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
- Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 226 с.
- Санников С. Н.* Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов // Экология. 1981. № 6. С. 23–33.
- Санников С. Н.* Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
- Санников С. Н., Санникова Н. С.* Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 149 с.
- Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В.* Естественное лесовозобновление в Западной Сибири. Екатеринбург: Бот. сад УрО РАН, 2004. 199 с.
- Седых В. Н.* Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2009. 164 с.
- Скудин В. М., Сухинин А. И., Буряк Л. В. и др.* Прогноз последствий пожаров в лесных экосистемах Нижнего Приангарья на основе комплексного ГИС-анализа // Лесн. хозяйство. 2010. № 1. С. 36–38.
- Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И. и др.* Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.

- Сныткин Г. В.* Лесные пожары и борьба с ними на крайнем северо-востоке Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. 06.03.03. М.: МГУЛ, 2002. 49 с.
- Софронов М. А.* Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 150 с.
- Софронов М. А.* Лесопожарное районирование Гослесфонда СССР // Горение и пожары в лесу: мат-лы первого Всесоюз. совещ. Ч. 1. Профилактика и тушение. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1980. С. 26–43.
- Софронов М. А.* Система пирологических характеристик и оценок как основа управления пожарами в бореальных лесах: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 1998. 60 с.
- Софронов М. А., Волокитина А. В.* Пожары растительности в зоне северных редколесий // Сиб. экол. журн. 1996. № 1. С. 43–50.
- Софронов М. А., Волокитина А. В.* Рекомендации по охране от пожаров южно-таежных заболоченных лесов Сибири. Красноярск, 2012. 40 с.
- Софронов М. А., Волокитина А. В., Софронова Т. М.* Пожары в горных лесах. Красноярск, 2008. 388 с.
- Софронов М. А., Голдаммер И. Г., Волокитина А. В. и др.* Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск, 2005. 340 с.
- Софронова Т. М., Волокитина А. В., Софронов М. А.* Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья. Красноярск, 2007. 237 с.
- Сухинин А. И., Буряк Л. В., Пономарев Е. И. и др.* Геоинформационная система и дистанционные данные применительно к задаче мониторинга нарушенности лесов Нижнего Приангарья // Вестн. ТГУ. 2006. № 18. С. 179–185.
- Уткин А. И.* Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 208 с.
- Фуряев В. В.* Шелкопрядники тайги и их выжигание. М.: Наука, 1966. 92 с.
- Фуряев В. В.* Охрана сосновых молодняков от пожаров в Сибири // Лесн. хоз-во. 1971. № 2. С. 66–69.
- Фуряев В. В.* Принципы и методы повышения пожароустойчивости молодняков // Там же. 1977. № 9. С. 83–85.
- Фуряев В. В.* Пожароустойчивость лесов и методы ее повышения // Прогнозирование лесных пожаров. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1978. С. 123–146.
- Фуряев В. В.* Использование аэрокосмических снимков для изучения и оценки последствий лесных пожаров // Исследование лесов аэрокосмическими методами. М.: Наука, 1987. С. 85–98.
- Фуряев В. В.* Закономерности воздействия пожаров на формирование лесов южной тайги Западной и Средней Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск, 1988. 50 с.
- Фуряев В. В.* Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1996. 253 с.
- Фуряев В. В., Заблоцкий В. И., Черных В. А., Злобина Л. П.* Повышение пожароустойчивости насаждений юго-западного сосново-степного подрайона ленточных боров Алтая. Рекомендации. Барнаул, 2005. 28 с.
- Цветков П. А.* Некоторые особенности природы пожаров в лесах Эвенкии // Лесные пожары и борьба с ними. Красноярск, 1991. С. 191–204.
- Цветков П. А.* Лесовозобновительная роль пожаров в северо-таежных лиственничниках Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 1996. Т. III, № 1. С. 61–66.
- Цветков П. А.* Пирофитность лиственницы Гмелина с позиций жизненных стратегий // Экология. 2004. № 4. С. 259–265.
- Цветков П. А.* Адаптация лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2005. № 1. С. 117–129.
- Цветков П. А.* Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск, 2007. 250 с.
- Черных В. А., Фуряев В. В.* Лесные пожары в ленточных борах Кулундинской степи. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 2011. 176 с.
- Швецов Е. Г., Сухинин А. И.* Оценка энергетических параметров лесных пожаров по дан-

- ным спутниковой съемки // Вестн. Сиб-ГАУ. 2011. № 2(35). С. 87–91.
- Щербаков И. П., Забелин О. Ф., Карпель Б. А. и др. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 224 с.
- Яковлев А. П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов юго-западной Якутии: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: ИЛИД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. 25 с.
- Ivanova G. A., Conard S. G., Kukavskaya E. A. et al. Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia // Environ. Res. Letters. 2011. N. 6. doi: 10.1088/1748–326/6/4/045203
- Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / Eds. J. G. Goldammer and V. V. Furyaev. Kluwer Acad. Publ., 1996.
- Kukavskaya E. A., Buryak L. V., Ivanova G. A. et al. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia // Environ. Res. Letters. 2013. N. 8. doi: 10.1088/1748–9326/8/4/045034.
- Sukhinin A. I., French N. H., Kasischke E. S. et al. AVHRR-based mapping of fires in Russia: New products for fire management and carbon cycle studies // Rem. Sens. Environ. 2004. N. 93. P. 546–564.

## Studies of Fire Nature in the Forests of Siberia

P. A. Tsvetkov<sup>1</sup>, L. V. Buryak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian State Technological University  
Prospekt Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049 Russian Federation  
E-mail: tsvetkov@ksc.krasn.ru, lburak@mail.ru

An analytical review of forest fires in the forests of Siberia from literature data published over the past 50 years is given. Prior to 1970 the main attention in publications was given to the investigation of fire nature in the southern taiga and mountain forests of Western and Central Siberia, Altai and Trans-Baikal. From 1971 to 1980, publications were characterized by wider aspects of forest fire research and expansion of the geographical area of coverage. In the next 15–20 years, the main consideration was given to the impact of fires on forest formation process, fire emissions, carbon balance, and fire management' problems. Also in this paper, the main trends and goals for future research are determined.

**Keywords:** *studies of forest fire nature, increase of forest fire resistance, fire impact on forest formation, fire management, Siberia.*