

УДК 630*434+551.04:634.0.11

**ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ
ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРОВ***© 2004 г. В. В. Фуряев¹, Ф. И. Плешиков¹, Л. П. Злобина¹, Е. А. Фуряев²¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок² Сибирский государственный технологический университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 82

Поступила в редакцию 10.02.2004 г.

Выявлены и проанализированы особенности пирологических режимов южной, средней и северной тайги Средней Сибири. Установлено, что потепление климата в направлении с севера на юг вдоль Енисейского меридиана обуславливает закономерное увеличение частоты пожаров и горимости лесов при одновременном уменьшении средних интервалов между ними. Пирологические режимы в каждой подзоне определяют масштабы пожарной и послепожарной эмиссий углерода, особенности восстановительно-возрастной динамики лесов, структуру и продуктивность сообществ на каждой стадии лесообразовательного процесса. Послепожарная смена хвойных на мелколиственные производные леса в южной, средней и северной тайге и полосе северных редколесий составляет соответственно 20, 12, 13 и 5% лесопокрытой площади. Особенности и масштабы этого процесса определяются огнестойкостью лесобразующих видов, пожароустойчивостью отдельных насаждений и крупных лесных массивов, пиропитательностью лесных формаций. Обсуждается вероятная масса ежегодно сгорающей органики и возможная реакция лесообразовательного процесса в условиях смешения лесорастительных подзон, обусловленного потеплением климата.

Подзоны тайги, пирологические режимы, послепожарные сукцессии, стадии восстановительно-возрастной динамики, воздействие пожаров на экотоп, послепожарная смена пород, пожарные эмиссии углерода.

Бореальные леса выполняют исключительно важные экологические функции. Считается, что средообразующие и средостабилизирующие функции этих лесов по своей биосферной и экологической значимости намного весомее их ресурсного потенциала. Однако само существование и нормальное экологическое функционирование бореальных лесов в значительной степени определяется природными и антропогенными пожарами. Их влияние на состояние и динамику экосистем особенно усилилось за несколько последних десятилетий, когда произошло резкое увеличение доли антропогенных пожаров [2]. В настоящее время в бореальных лесах Евразии в экстремальные годы их число достигает 30 тыс., а площадь охватывает до 10 млн. га [23].

Положение усугубляется тем, что значительная часть бореальных лесов расположена на неохранных от пожаров территориях, на долю которых в России приходится 45% общей площади гарей и погибших насаждений [13]. Как в процессе самих пожаров, так и в последующие годы

вследствие широкомасштабной смены возрастных поколений и хвойных видов на мелколиственные происходит резкое изменение экологических функций экосистем. В результате нарушаются гидрологические и экологические режимы крупных территорий, изменяются биогеохимические циклы питательных элементов, так или иначе изменяются стабилизирующие функции бореальных лесов. С учетом масштабов ежегодного воздействия пожаров и многолетнего накопления трансформированных ими экосистем изменения экологических функций бореальных лесов в пределах Евразии и Северной Америки приобретают биосферное значение [4]. В связи с этим комплексные углубленные исследования этих изменений и их количественная оценка имеют фундаментальный характер как для познания современных биосферных процессов, так и для их прогноза. Цель настоящей работы заключалась в выявлении и количественной оценке изменений в структуре и экологических функциях лесов в подзонах тайги Средней Сибири на основе материалов, полученных на первом этапе комплексных исследований, проводимых Институтом леса им. В.Н. Сукачева СО РАН на Енисейском меридиане.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Миннауки и технологий РФ ФЦНТП "Глобальные изменения природной среды и климата".

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования по теме проведены в подзонах южной, средней и северной тайги Средней Сибири. Они являются составной частью комплексных исследований биогеохимических циклов, энерго- и массообмена в зональных экосистемах Енисейского меридионального трансекта. Объектами исследований масштабов воздействия пожаров на лесные экосистемы таежной зоны служат гари текущего десятилетия, а также стадии растительности, сформировавшейся под воздействием пожаров.

Оценка масштабов и особенностей воздействия огня на леса различных подзон основана на анализе структуры лесных земель. Методика исследования предусматривала описание стадий послепожарной динамики лесов на пробных площадях и топоэкологических профилях, выявление и расчет частоты пожаров, соотношения лесных формаций и субформаций, определение нарушенности лесов пожарами и масштабов послепожарной смены пород [28]. В основу исследований положена технология использования тематических карт и дешифрирование разномасштабных аэрокосмических фотоснимков [8-10]. Особое внимание уделено дешифрированию следов воздействия пожаров на лесную растительность, обусловившему современную нарушенность лесов пожарами и послепожарную смену пород. При этом понятие нарушенность характеризует долю территории, на которой вследствие воздействия пожаров за прошедшие 200 лет происходила смена пород и возрастных поколений.

В категорию лесопокрытых площадей с нарушенными лесами включены все площади, занятые восстановительно-возрастными стадиями послепожарной динамики за исключением тех, которые в настоящее время представлены коренными и условно-коренными сообществами (пожаров не было 200 и более лет). К категории площадей с послепожарной сменой пород отнесены площади, на которых вследствие воздействия пожаров бывшие коренные темнохвойные и светлохвойные леса сменились на производные сообщества с преобладанием в составе березы или осины. К числу пирогенных производных сообществ отнесена часть светлохвойно-темнохвойных и сосново-лиственных лесов (первого пирогенного поколения) на суглинистых почвах междуречий, возникших на месте коренных типов леса. Эта категория лесопокрытой площади представляет собой лишь часть общей площади лесов, нарушенных пожарами. Вместе с тем очевидно, что с лесоводственных и экологических позиций она характеризует наиболее существенные длительно-временные воздействия пожаров на современное состояние лесов. Послепожарная смена пород в различных подзонах тайги и ее лесоводственная

Таблица 1. Пирологические режимы в зоне бореальных лесов Средней Сибири

Показатели климата и пожаров	Подзоны тайги		
	южная	средняя	северная
Сумма температур выше 5°С	1150	1000	800
Индекс сухости	<1.5	<2.0	<2.0
Частота пожаров	20	6	4
Средний интервал между пожарами, лет	11 ± 8	50 ± 20	80 ± 25
Горимость лесов, %	0.25	0.16	0.13

интерпретация так или иначе рассматривались и ранее.

Отличительной чертой нашего исследования является попытка дать сравнительный анализ масштабов и особенностей послепожарной смены пород на фоне различных климатических условий, свойственных подзонам южной, средней и северной тайги, а также полосе северных редколесий, выделяемой в пределах последней [1]. Логично предположить, что географический аспект анализа создает определенную основу для экстраполяции выявленных закономерностей смены пород в южной и средней тайге на подзону северной тайги и полосу северных редколесий в связи с прогнозируемым потеплением климата.

Изменения в структуре и состоянии лесного покрова представляют исходную базу данных для оценки пожарных и послепожарных эмиссий углерода, закономерностей послепожарного лесообразовательного процесса на гаярах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пирологическая характеристика лесорастительных подзон. Понимание того, как различные пирологические режимы связаны с длительными изменениями климата в прошлом и его широтными характеристиками в настоящее время, дает возможности для прогноза направленности сукцессий при вероятном глобальном изменении климата. Не менее важное значение в этом аспекте имеет обратное влияние гарей и послепожарных сукцессий на горимость лесов, масштабы выноса углерода в атмосферу и глобальное состояние климата.

В широтных подзонах бореальной зоны Средней Сибири в связи с особенностями климата выявлены специфические закономерности в возникновении, интенсивности, частоте пожаров и горимости лесов (табл. 1).

Так, в современных климатических условиях южной тайги наблюдаются два максимума возникновения пожаров, приуроченные к ранневе-

сеннему и летнему периодам пожароопасного сезона. Для максимумов характерны низовые беглые пожары весной, увеличение их интенсивности в летний период и возникновение подстильно-гумусовых, подлесно-кустарниковых и верховых пожаров. Средняя многолетняя повторяемость пожаров в наиболее репрезентативных сосняках зеленомошных в этой подзоне составляет 11 лет при частоте пожаров до 20 и горимости лесов 0.25% [22].

В подзоне средней тайги наблюдается один весенне-летний максимум пожаров. Весной преобладают низовые беглые пожары, в летний период их интенсивность увеличивается, но в меньшей степени, чем в этот же период в южной тайге. Тем не менее, в летний период преобладают подстильно-гумусовые пожары, которые часто приводят к полной гибели древостоев и смене пород или возрастных поколений. При частоте пожаров около 6 средний интервал между ними составляет 50 лет. Горимость подзоны равна 0.16% в год [21].

В северной тайге повсеместно распространена многолетняя мерзлота. Для подзоны характерен летний максимум пожаров. Преобладают интенсивные низовые пожары, часто принимающие характер павальных. При мощном слое мхов, лишайников и оторфованной подстилки они приводят к полной гибели древостоев со сменой пород и возрастных поколений. Пожары относительно редки, но распространяются на большие площади, как правило, полностью охватывая водоразделы рек третьего и второго порядка. Средний интервал между пожарами составляет 80 и более лет, но горимость лесов по площади достигает 0.13%, что близко к горимости средней тайги [25].

Расчеты показали, что потепление климата при движении с севера на юг вдоль Енисейского меридиана при прочих равных условиях обуславливает закономерное увеличение частоты пожаров и горимости лесов при одновременном уменьшении средних интервалов между пожарами. Так, при изменении суммы температур выше 5°C на фоне перехода из северной тайги в южную в относительном значении на 25% частота пожаров и горимость лесов увеличиваются соответственно на 50 и 25%, а средний интервал между пожарами уменьшается на 38%. При переходе из средней тайги в южную сумма температур выше 5°C возрастает на 15%. Частота пожаров и горимость лесов при этом увеличиваются соответственно на 233 и 56%, а средний интервал между пожарами уменьшается на 78%.

В целом по Енисейскому меридиану в границах таежной зоны увеличение суммы температур выше 5°C при движении с севера на юг составляет 350°, или 44%. Оно обуславливает увеличение частоты пожаров и горимости лесов соответственно на 400 и 92% с одновременным уменьшением

среднего интервала между пожарами на 86%. Можно считать, что увеличение суммы температур на каждый процент от исходной вызывает соответствующее увеличение частоты пожаров и горимости лесов на 9 и 2% и уменьшение среднего интервала между пожарами на 2%.

Оценка взаимосвязи пирологических режимов с широтными характеристиками климата позволяет имитировать прогноз лесообразовательных процессов и, в частности, соотношение стадий послепожарных сукцессий при возможном потеплении климата. Не менее важное значение в этом аспекте имеет обратное влияние широкомаштабного распространения гарей и послепожарных сукцессий на вынос в атмосферу углерода и глобальное состояние климата.

Пирогенная трансформация структуры лесного покрова. Особенности взаимодействия климата и пожаров обуславливают зонально-географические закономерности послепожарного лесообразовательного процесса. Как показано выше, эти особенности определяют частоту пожаров и продолжительность интервалов между пожарами в различных зонально-географических условиях. Пирологический режим, обусловленный климатом конкретной природной зоны и наличием источников загораний, в свою очередь определяет особенности восстановительно-возрастной динамики и структуру лесов, а также продуктивность сообществ на каждой стадии лесообразовательного процесса.

Сравнительный анализ эколого-динамических рядов сообществ в рамках одной и той же экосистемы показывает качественные и количественные различия в составе пород, возрастной структуре древостоев, характере подроста и подлеска на одних и тех же стадиях в различных климатических условиях. Эти особенности достаточно рельефно прослеживаются на примере экосистемы сосняков зеленомошных в подзонах южной и средней тайги и лиственничников кустарничково-зеленомошных в подзоне северной тайги [24]. Наряду с фитоценотическими особенностями насаждений на каждой стадии в подзонах тайги имеются существенные различия в средних высотах, средних диаметрах и динамике запаса. Относительно близкими значениями характеризуется динамика количества подроста в процессе послепожарного формирования (рис. 1).

Лесоводственные и таксационные особенности стадий в различных подзонах не исчерпывают всю совокупность длительно-временных последствий пожаров. Большие различия прослеживаются в экологических последствиях. Так, в южной тайге в условиях умеренно влажного и прохладного климата процессы деструкции и гумификации мертвых растительных остатков сами по себе протекают активно. Здесь пожары,

уничтожая органику, оказывают влияние на состояние экотопа, а формирование лесов при их частой повторяемости идет с явной потерей продуктивности.

В подзоне средней тайги с островным распространением многолетней мерзлоты или длительно-сезонным промерзанием почв и грунтов воздействие пожаров при их относительно редкой повторяемости неоднозначно. С одной стороны, воздействие пожаров на конкретный древостой в большинстве случаев приводит к его полному разрушению, так как в условиях слабо выраженной деструкции органических веществ происходит формирование мощного мохового покрова и оторфованной подстилки и интенсивность пожаров при их редкой повторяемости очень высокая. В то же время с позиции эволюционного процесса роль пожаров в формировании лесного покрова в подзоне средней тайги на почвах с несплошным распространением многолетней мерзлоты можно рассматривать как позитивную [6, 14, 18, 19, 30].

Позитивная роль пожаров в эволюционном процессе обусловлена тем, что в данных условиях они выступают единственным и решающим экзогенным фактором, способным в кратчайшие сроки коренным образом позитивно изменять состояние экотопа, направленность и интенсивность почвенно-биологических процессов в экосистемах, структуру сообществ и тенденции их дальнейшего развития. Влияние пожаров здесь выражается в предотвращении заболачивания, освобождении, преобразовании и перераспределении питательных веществ, улучшении гидротермического режима почв в целом. Все это в совокупности интенсифицирует лесообразовательный процесс.

В северной тайге воздействие пожаров на экосистемы и лесообразовательный процесс неоднозначно и приводит к последствиям, во многом аналогичным вышеперечисленному для экосистем средней тайги. Однако это положение справедливо лишь для местообитаний с несплошным и маломощным слоем многолетней мерзлоты. Для объективной оценки крупномасштабного и длительно-временного воздействия пожаров на лесообразовательные процессы в средней и северной тайге необходимы дополнительные исследования. Современное соотношение коренных и производных послепожарных сообществ в южной, средней и северной тайге составляет 57-43%, 70-30 и 75-25% соответственно.

Полученные данные показывают, что послепожарная смена хвойных на мелколиственные производные леса в южной, средней, северной тайге и в полосе северных редколесий составляет соответственно 20, 12, 13 и 5% лесопокрытой площади. В абсолютном выражении эти площади составляют десятки миллионов гектаров. Масштабы послепожарной смены пород определяются

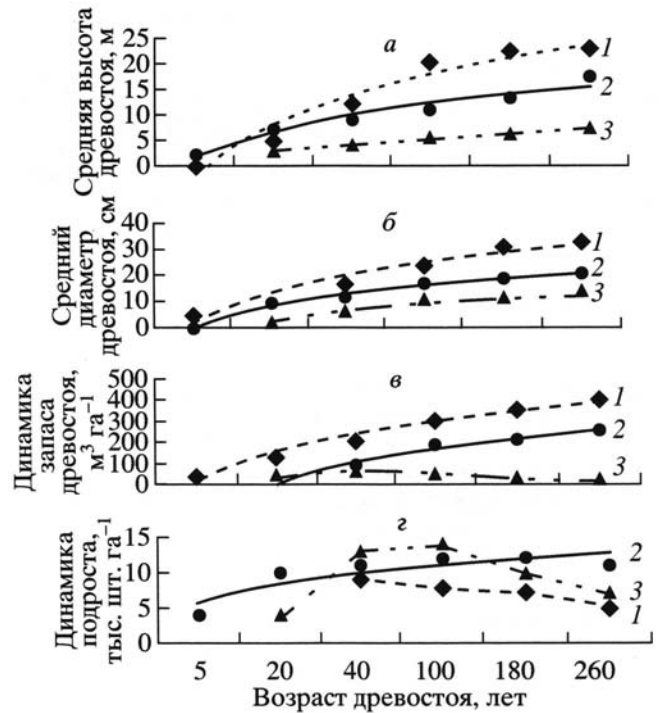


Рис. 1. Восстановительно-возрастная динамика сосняков зеленомошных в южной (1) и средней (2) тайге и лиственничниках кустарничково-зеленомошных (3) в северной тайге: а - средняя высота древостоя; б - средний диаметр; в - динамика запаса; г - динамика подроста.

наряду с собственно горимостью лесов различной огнестойкостью деревьев, пожароустойчивостью насаждений и пиропитностью лесных формаций, под которой понимается способность древесных пород успешно восстанавливаться на гаях и сохранять свой ареал [15]. Успешность восстановления без смены пород, в свою очередь, обусловлена многими факторами экологического режима природных комплексов [25].

Оценка потерь углерода в лесах различных подзон под воздействием пожаров. В настоящее время имеются отдельные данные, характеризующие своеобразный "вклад" лесных пожаров в общее загрязнение атмосферы и в том числе за счет поступления в нее углекислого газа [5, 7, 11, 12, 16, 17]. Хотя доля лесных пожаров в общем балансе загрязнения атмосферы еще полностью не определена, тем не менее очевидно, что она значительна и в экологическом прогнозировании локальных и глобальных процессов с нею необходимо считаться.

Наряду с загрязнением атмосферы периодическое задымление крупных территорий бореальной и лесостепной зон уменьшает солнечную инсоляцию, что в свою очередь отражается на фенологической ритмике растительности, процессах иссушения воздуха и почвы, динамике грунтовых вод и в

Таблица 2. Масса ежегодно сгорающей органики и эмиссии углерода в результате пожаров в подзонах тайги Средней Сибири

Подзоны тайги	Площадь подзоны, млн. га	Ежегодная горимость, %	Ежегодная общая площадь пожаров, тыс. га	Средний запас напочвенных горючих материалов, т га ⁻¹	Масса сгорающей органики, млн. т	Пожарные эмиссии углерода, млн. т
Южная	14.0	0.25	35.2	11.2 ± 3.1	0.39	0.20
Средняя	58.5	0.16	93.6	25.0 ± 7.5	2.34	1.17
Северная	60.8	0.13	79.0	33.6 ± 10.2	2.65	1.32

целом на экологическом режиме природных комплексов и продуктивности лесных сообществ [26].

Однако наиболее важным экологическим последствием является воздействие лесных пожаров на углеродный баланс атмосферы и лесных экосистем. Прямое воздействие пожаров определяется "пожарными" эмиссиями углерода, которые являются результатом физико-химического процесса горения органического вещества, аккумулированного в напочвенном покрове и других компонентах лесных сообществ. Массу сгорающей органики в различных подзонах тайги вдоль Енисейского меридиана мы определили путем умножения площади, ежегодно проходимой пожарами в каждой подзоне, на средний запас напочвенных горючих материалов, сгорающих при этом. По общепринятым представлениям "пожарную" эмиссию углерода принимали равной 50% от массы сгорающей органики.

Как показали расчетные данные, экологические последствия пожаров, характеризующиеся эмиссиями углерода, в различных подзонах тайги по своему масштабу неодинаковы, но в целом весьма существенны. Так, например, масса ежегодно сгорающей органики и эмиссии углерода в атмосферу в разрезе подзон с юга на север изменяются от 0.39 до 2.65 и 0.20 до 1.32 млн. т соответственно (табл. 2).

Наибольшие массы сгорающей органики и соответственно потерь углерода характерны для средней и северной тайги. Объясняется это наличием достаточно больших лесопокрытых площадей, относительно высокой ежегодной горимостью лесов, большими запасами напочвенных горючих материалов, сгорающих при пожарах. Важно отметить, что в северной тайге при современном климате относительная горимость лесов (0.13%) почти в два раза меньше горимости лесов в южной тайге (0.25%), однако вследствие наличия значительных площадей, ежегодно проходимых пожарами, и больших запасов напочвенных горючих материалов масса сгорающей органики и пожарная эмиссия углерода здесь превышают аналогичные показатели для южной тайги почти в семь раз (рис. 2). Указанная оценка дает основание предполагать возможное многократное увеличение эмиссии углерода при ожидаемом потеплении климата и соответственно возрастании уровня горимости лесов северной подзоны.

Послепожарные эмиссии углерода являются следствием биологического процесса медленного его высвобождения в результате деструкции мертвой органики, а также за счет дыхания почвенной биоты и восстанавливающейся растительности. Они тесно взаимосвязаны с послепожарной восстановительно-возрастной динамикой ле-

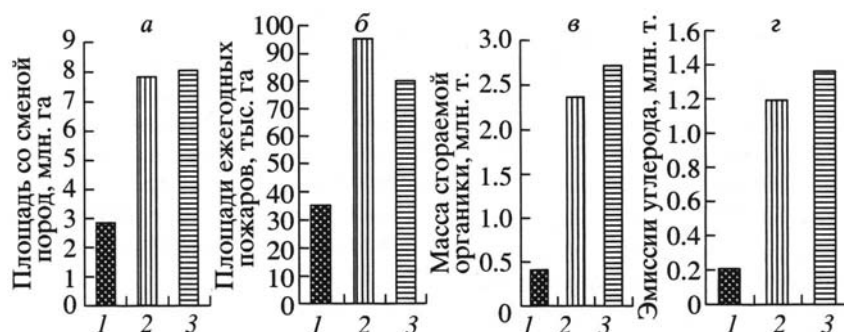


Рис. 2. Региональное воздействие пожаров на экосистемы и атмосферу зоны бореальных лесов Средней Сибири южной (1), средней (2) и северной (3) тайги: а - площади со сменой пород в результате прошлых пожаров; б - площади с ежегодно выгораемой массой напочвенных горючих материалов; в - масса сгораемой органики; г - пожарные эмиссии углерода.

сов различных типов и изучены пока очень слабо [16, 17, 20].

Исследованиями установлено, что нарушенность лесов пожарами составляет в ландшафтах Западной Сибири 30-84%, Енисейского кряжа - 16-78%, Среднесибирского плоскогорья - 33-51% лесопокрытой площади [27, 28]. Эти оценки показывают, что во многих ландшафтах бореальной зоны вдоль Енисейского меридиана вследствие многократного воздействия пожаров произошла смена хвойных лесов на производные мелколиственные и смена возрастных поколений [22, 24]. Однако в настоящее время дать корректную оценку и прогноз динамики экологических функций лесов на этих территориях достаточно трудно. Такая оценка требует постановки специальных комплексных исследований пространственно-временного распределения восстановительно-возрастных стадий послепожарного формирования сообществ и моделирования их динамики во времени и по территории с учетом вероятности повторных воздействий пожаров. Решение этой задачи нам представляется одним из первоочередных шагов в рамках исследований на Сибирском трансекте Международной геосферно-биосферной программы (JGBP).

Возможные изменения в лесном покрове под воздействием пожаров при потеплении климата.

Воздействие пожаров на бореальные леса в исторически обозримый период времени является общепризнанным фактом и вряд ли требует каких-либо дополнительных доказательств. Однако актуальным остается выявление масштабов и особенностей этого воздействия в связи с зонально-географическими изменениями климата в историческом прошлом, настоящем и особенно будущем. Актуальность решения этой задачи обусловлена тем, что пожары трансформируют биогеохимические циклы в лесных экосистемах, изменяют их экологический режим, стабильность и продуктивность. В совокупности с рельефом и почвами они определяют характер размещения лесных сообществ по территории, возрастную и пространственную структуру древостоев. По своей роли пожары являются важным контролирующим фактором лесообразовательных процессов, распределения и динамики углерода.

Широтная изменчивость климата через условия экотопа, повторяемость и интенсивность пожаров формирует пирологические режимы экосистем, существенным образом определяющие направление сукцессий, мозаичность лесного покрова, масштабы послепожарной смены древесных видов и нарушенность лесов пожарами. Существование взаимосвязи пирологических режимов с зональной изменчивостью климата и лесными формациями в современную лесообразовательную эпоху создает основу для прогнози-

рования основных направлений и масштабов послепожарных сукцессий при ожидаемом потеплении климата. Современные оценки климатологов показывают, что глобальное потепление климата больше всего проявится в северной подзоне бореальных лесов, лесотундре и тундре [31]. На этой основе прогнозируется, что высокоинтенсивные пожары в северных широтах могут получить очень широкое распространение [32]. Высокая горимость лесов будет сохраняться в течение достаточно продолжительного переходного периода, т.е. до тех пор, пока не установится через обратную связь необходимое равновесие между климатом, растительностью и пожарами [23]. Перемещение зон растительности и внутризональные изменения ее состава и структуры будут сопровождаться трансформацией объема и перераспределением биомассы [29] и соответственно нарушением баланса углерода.

Таким образом, есть основания считать, что перечисленные прямые воздействия климата и различных факторов хозяйственной деятельности обусловят в перспективе высокую горимость бореальных лесов Средней Сибири с глубокими экологическими последствиями. По экспертной оценке за счет перемещения зон растительности и распространения пожаров в суходольных и гидроморфных экосистемах масса ежегодно сгораемой органики здесь может достигнуть 16 млн. т. Вследствие этого возможно региональное увеличение количества выбрасываемого в атмосферу Земли углекислого газа и твердых аэрозольных частиц, содержащихся в дыму лесных пожаров. Есть основания полагать, что эти процессы обусловят более высокое содержание углерода в атмосфере и вызовут дополнительное потепление климата.

Правомерно предположить, что возможная реакция лесообразовательного процесса на ожидаемые изменения климата и пирологических режимов будет иметь явно выраженную региональную специфику. Особенно существенные изменения лесообразовательных процессов могут произойти в северных широтах, однако прогнозировать их при современном уровне знаний можно лишь с большой долей неопределенности. Тем не менее такие попытки предпринимаются и, по нашему мнению, заслуживают внимания. Во всяком случае они ориентируют человечество на грядущие изменения и принятие мер по замедлению или прекращению негативных процессов.

Оценка существующего и прогнозируемого воздействия климата на горимость лесов, динамику и продуктивность экосистем бореальной зоны послужит важным вкладом в модель общей циркуляции атмосферы и позволит определить вероятную величину обратного влияния пожаров на климат. Однако для такой оценки и прогноза тре-

буется скоординированная программа исследований на международном уровне. Важным региональным аспектом этой программы должны быть исследования на Сибирском трансекте по Енисейскому меридиану.

Заключение. Исследование показало, что на протяжении многих веков лесные пожары оказывали широкомасштабное воздействие на структуру и экологические функции бореальных лесов Средней Сибири. Результатами этого воздействия являются нарушение лесов, соотношение коренных и производных сообществ, пожарные и послепожарные эмиссии углерода, имеющие свою специфику в южной, средней и северной тайге. В связи с вероятным потеплением климата и смещением лесорастительных зон прогнозируется увеличение горимости лесов, изменения направленности лесообразовательных процессов, возрастание объемов эмиссий углерода. Для корректной оценки этих явлений необходимы комплексные исследования, моделирование и прогноз с координацией на международном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абаимов А.П., Бондарев А.И., Зырянова О.А., Шитова С.А.* Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
2. *Ваганов Е.А., Арбатская М.К.* История климата и частота пожаров в центральной части Красноярского края. 1. Климатические условия сезона роста и распределение пожаров в сезоне // Сиб. экологический журн. 1996а. № 1. С. 9-18.
3. *Ваганов Е.А., Арбатская М.К., Шашкин А.В.* История климата и частота пожаров в центральной части Красноярского края. 2. Дендрохронологический анализ связи изменчивости прироста деревьев, климата и частоты пожаров // Сиб. экологический журн. 1996б. № 1. С. 19-28.
4. *Ваганов Е.А., Фуряев В.В., Сухинин А.И.* Пожары сибирской тайги // Природа. 1998. № 7. С. 51-62.
5. *Ваганов Е.А., Хьюс М.К., Шашкин А.В., Арбатская М.К.* Дендрохронологические методы в оценке углеродного цикла лесных экосистем // Круговорот углерода на территории России. М.: Наука, 1999. С. 96-123.
6. *Евдокименко М.Д.* Влияние лесных пожаров на продуктивность древостоев // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО РАН, 1984. С. 56-65.
7. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Депонирование углерода в лесах России // Углерод в биогеоценозах. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. Вып. XV. С. 59-98.
8. *Киреев Д.М.* Структура таежных ландшафтов и методы ее дистанционного изучения (на примере Западно-Сибирской лесоболотной равнины) // Исследования таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука, 1979. С. 11-44.
9. *Киреев Д.М., Сергеева В.Л.* Ландшафтно-морфологическое картографирование лесов. М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. 56 с.
10. *Киреев Д.М., Сергеева В.Л.* Экологическая оценка и картографирование земель Красноярского края. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 33 с.
11. *Конард С.Г., Иванова Г.А.* Дифференцированный подход к оценке эмиссий углерода при лесных пожарах // Лесоведение. 1998. № 3. С. 28-35.
12. *Коровин Г.Н.* Структура и механизм функционирования системы охраны лесов от пожаров: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1998. 76 с.
13. *Коровин Г.Н., Барталев С.А., Беляев А.И.* Интегрированная система мониторинга лесных пожаров // Лесн. хоз-во. 1998. № 4. С. 45-48.
14. *Крючков В.В.* Крайний Север: проблемы рационального использования природных ресурсов. М.: Наука, 1973. 182 с.
15. *Санников С.Н.* Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. С. 236-277.
16. *Софронов М.А., Волокитина А.В.* Методика оценки баланса углерода по динамике биомассы в пирогенных сукцессиях // Лесоведение. 1998. № 3. С. 36-42.
17. *Софронов М.А., Швиденко А.З., Голдаммер И.Г., Волокитина А.В.* Влияние пожаров на баланс углерода в бореальной зоне: создание информационной базы данных для моделей // Лесоведение. 2000. № 4. С. 3-8.
18. *Уткин А.И.* Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 168 с.
19. *Уткин А.И.* Лесные биогеоценозы криогенной области как специфические системы // Экология. 1976. № 3. С. 15-22.
20. *Федоров Е.Н.* Зональные особенности комплексов напочвенных горючих материалов в лиственничниках зеленомошных южной и северной тайги Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2000. 24 с.
21. *Фуряев В.В.* Лесные пожары в междуречье Хушмо и Кичму // Проблемы метеоритики. Новосибирск: Наука, 1975. С. 72-87.
22. *Фуряев В.В.* Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
23. *Фуряев В.В., Голдаммер И.Г.* Экологические проблемы пожаров в бореальных лесах: опыт и пути международного сотрудничества // Лесн. хоз-во. 1996. № 3. С. 7-9.
24. *Фуряев В.В., Голдаммер И.Г., Злобина Л.П.* Зональные особенности лесообразовательных процессов на территории Средней Сибири // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 93-97.
25. *Фуряев В.В., Злобина Л.П., Фуряев Е.А., Цыкалов А.Г.* Зональные и ландшафтные особенности послепожарной смены пород в таежной зоне Средней Сибири // Лесоведение. 2001. № 6. С. 14-21.

26. *Фуряев В.В., Киреев Д.М.* Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука, 1979. 160 с.
27. *Фуряев В.В., Киреев Д.М.* Изучение послепожарного формирования лесов по космическим снимкам // Дистанционное изучение структуры таежных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1981. С. 5-21.
28. *Фуряев В.В., Киреев Д.М., Сухих В.И., Жирин В.М.* Использование космических снимков для оценки нарушенности лесов пожарами // Исслед. Земли из космоса. 1983. № 3. С. 43-49.
29. *Чебакова Н.М., Монсеруд Р.А., Денисенко О.В., Парфенова Е.И.* Приложение модели сибирской растительности к пространственно-временным исследованиям климата и растительного покрова // Лесоведение. 1999. № 2. С. 3-12.
30. *Шешуков М.А.* Влияние пожаров на развитие таежных биогеоценозов // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО РАН, 1987. С. 81-96.
31. *Maxwell B.* Arctic climate: potential for change under global warming // Arctic Ecosystems in Changing Climate. N. Y.: Academic Press. 1992. V. 11. P. 11-34.
32. *Stocks B.J.* Global warming end forest fires in Canada // The Forestry Chronicle. 1993. V. 69(3). P. 290-293.

Transformation of Structure and Ecological Functions of Forests under the Influence of Fire in Central Siberia

V. V. Furyaev, F. I. Pleshikov, L. P. Zlobin, and E. A. Furyaev

Climate warming increases the frequency and intensity of fire from the north to the south along the Yenisei meridian, whereas mean intervals between fires gradually decrease. Pyrological regimes characteristic of every subzone determines fire and post-fire carbon emissions, specific features of restoration and age dynamics of forests, and structure and productivity of forest communities at any stage of the forest-forming process. The area occupied by forests small-leaved secondary as a result of the post-fire replacement of coniferous forests in the southern, middle and northern taiga and in northern open woodland amounts to 20, 12, 13, and 5% of the forested area. Peculiarities and scale of this process are determined by fire-resistance of forest-forming species, stands and large forest massifs, as well as by pyrophytness of forest formations. The possible mass of annually burnt organic material and a response of the forest-forming process in conditions to a shift of natural subzones due to climate warming are discussed.