

ГАРИ В ЛИСТВЕННИЧНИКАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ: ВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ И ЛАНДШАФТНАЯ ПРИУРОЧЕННОСТЬ

М.Л. Двинская¹, В.И. Харук¹, К. Дж. Рэнсон²

¹Институт леса СО РАН, Красноярск,
660036, Красноярск, Академгородок.
E-mails: mary_dvi@ksc.krasn.ru; kharuk@ksc.krasn.ru;

²Годдардский центр космических полетов, США
E-mail: kenneth.j.ranson@nasa.gov

Исследована долгосрочная временная динамика пожаров, включая межпожарный интервал (МПИ), в лиственничниках Сибири. Хронология пожаров с 15 по 20 век была выполнена по анализу пожарных отметин на стволах деревьев. Средний межпожарный интервал составил 82 ± 7 лет. Выявлена зависимость МПИ от топографии местности. На северо-восточных склонах МПИ составляет 86 ± 11 лет, на юго-западных склонах МПИ значительно меньше (61 ± 8), и на ровных местах – 86 ± 14 лет. Для заболоченных мест значение МПИ выше – 139 ± 17 лет. Обнаружен временной тренд в уменьшении межпожарного интервала со 101 года в XIX веке до 65 лет в XX веке. Проанализирована связь между экстремальным числом пожаров и отклонениями температур на региональном, субконтинентальном и глобальном уровнях. Обсуждается влияние наблюдаемых трендов на лиственничники.

Введение

Зона доминирования лиственницы в России (~270 млн. га) рассматривается как зона “стока” углерода. Однако возрастание температуры в высоких широтах [1, 2] и, как одно из следствий, повышение частоты пожаров может перевести эти территории в зону эмиссии CO₂ и других парниковых газов. Возникновение пожаров, их интенсивность и периодичность, причиняемый ущерб, площадь гарей связаны с орографией территории и климатом [3, 4]. Характеристики рельефа (экспозиция, крутизна склонов и высота) играют важную роль в возникновении и интенсивности лесных пожаров. Азимут (экспозиция) и крутизна значительно влияют на «пирологическую зрелость» горючих материалов и на уровень увлажнения территории, так как наветренные склоны получают большее количество осадков, вода, не задерживаясь на склонах, накапливается в пониженных элементах рельефа [5, 6, 7, 8]. С высотой над уровнем моря связан вертикальный климатический градиент, влияющий на пожароопасность. Приуроченность пожаров к элементам рельефа вербально была сформулирована ранее [5]; количественный подход к проблеме был применен в работе (Харук и др., 2004) на примере гарей о. Сахалин.

Цель данной работы - исследовать периодичность пожаров в лиственничниках Средней Сибири, формализовать взаимосвязь гарей с элементами ландшафта.

Район исследования

Исследуемая территория расположена на Среднесибирском плато (рис. 1). Более 80% площади занято древостоями из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*). Климат резко континентальный; среднегодовые температуры изменяются в интервале $-8 \dots -14$ С, в теплый период выпадает 200-250 мм осадков. Большая часть территории представляет плато с максимальными высотами до 900 м. Лесные пожары типичны для рассматриваемой территории; преобладают, за редким исключением, низовые пожары, что обусловлено низкой сомкнутостью крон. От повреждающего воздействия огня ствол лиственницы защищен толстой корой, составляющей до 20% объема ствола. Поэтому обычно причиной послепожарного усыхания древостоев является повреждение огнем корневой системы лиственницы, которая на мерзлотных почвах расположена вблизи поверхности. Периодичные пожары приводят к формированию разновозрастных древостоев из двух – четырех поколений деревьев или к возникновению одновозрастных лиственничных молодняков [10].

Материалы и методы

В работе использовались материалы наземных обследований, дистанционного зондирования (снимки Landsat, Terra/MODIS), 3D цифровые топокарты (М 1: 1.000.000), а также карта растительного покрова Евразии, полученная на основе анализа снимков SPOT VEGETATION (<http://www.gvm.sai.jrc.it/glc2000/Products/fullproduct.asp>).

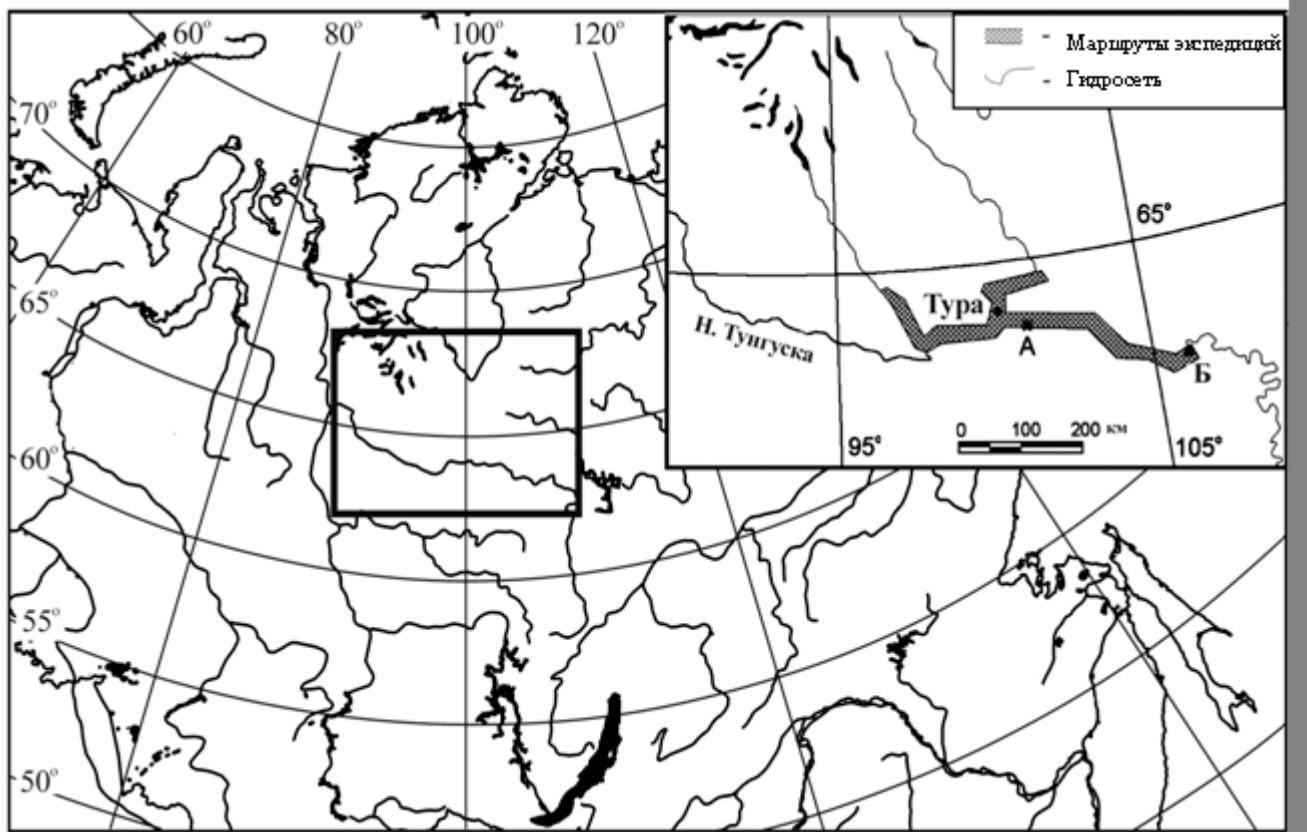


Рис. 1. Схема наземных обследований. А, Б – точки отбора образцов для анализа радиального прироста.

Наземные обследования проводились в 2001-2004 годах, ходе которых было заложено 78 пробных площадей (ПП). Предварительно ПП подбирались на основе дешифрирования снимков Landsat и Terra/MODIS (выделение гарей и контрольных участков). На каждой ПП определялись показатели рельефа, тип растительного покрова и фитоценоза, лесоинвентаризационные характеристики, экзогенные воздействия, возобновление древесных пород, напочвенный покров и тип почвы, глубина сезонного оттаивания мерзлоты [11]. В радиусе ~ 100 м от центра ПП спиливались 3-6 деревьев с пожарными следами (подсушинами) для датировки пожаров и определения межпожарного интервала (МПИ) на основе подсчета годовичных колец.

Для перекрестной датировки пожаров, происшедших в период с 1980 по 2000 гг, использовались также временные ряды съемок со спутника NOAA/AVHRR; последние были представлены в виде значений NDVI (нормализованный вегетационный индекс), усредненных по времени (два значения в месяц) и величине пиксела (8x8 км). Гари выделялись на фоне контрольных точек по более низким значениям NDVI; для отделения сплошных гарей от территорий, пройденных низовым пожаром без повреждения верхнего полога, анализировались данные по NDVI в последующие годы.

Межпожарный интервал рассчитывался по формуле: $(D_i - D_{i-1})$, где D_i, D_{i-1} - даты i -го и $i-1$ пожаров. При анализе временных трендов в периодичности пожаров МПИ относился к году, соответствующему середине интервала. Для подсчета цикличности пожаров («пожарной активности») каждому году в исследуемый период (с 1410 по 2000 год) присваивалось значение, соответствующее числу пожаров в данный год. Полученный ряд был пройден фильтром «скользящее окно» размерами 11 лет, что позволило сгладить флуктуации.

При построении временных трендов значения МПИ относилось к году, соответствующему середине МПИ. Наряду с живыми, анализировались погибшие под воздействием огня деревья, что позволяло методом перекрестной датировки удлинить хронологию пожаров.

Точность датировки пожаров оценивалась по обобщенной («master») древесно-кольцевой хронологии [12]. Календарная дата пожара, ложные и выпавшие кольца выявлялись сочетанием кросс-корреляционного анализа и графической перекрестной датировки [13, 14]. Независимая оценка точности измерений была выполнена сопоставлением с данными авианаблюдений пожаров за период 1980 -1993 гг ($R = 0.76$). Для сравнительного анализа цикличности пожаров и динамики радиального прироста были подобраны ПП, на которых пожары не отмечались за длительный (> 200 лет) промежуток времени. Наряду с корреляционным анализом применялась непараметрическая статистика (τ -параметр Кендалла, $\tau = [(\text{число совпадений}) - (\text{число несовпадений})] / (\text{число анализируемых пар})$) [15].

Результаты и обсуждение

Циклы подверженности пожарам

Анализ взаимосвязи гарей с характеристиками рельефа был основан (1) на данных наземного обследования и (2) на 3D цифровой карте М 1:1.000.000, представляющей матрицу значений высот с 30-секундным разрешением по широте и долготе (http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/_globeget.sht). Распределение площадей гарей рассчитывалось для склонов различных экспозиций [северных (азимуты 315° – 45°), восточных (45°- 135°), южных (135° - 225°) и западных (225°- 315°) склонов, а также юго-западного (135° -315°) и северо-восточного (315° - 135°) направлений], болот и равнин. К равнинам (плакоры, дренированные приречные террасы) были отнесены территории с величиной уклонов 0°...2°. В целом по пробным площадям крутизна склонов варьировала в интервале от 0° до 20°. Рассчитанные величины МПИ представлены в табл.1.

Таблица 1. Значения МПИ для различных элементов рельефа

<i>Показатель</i>	<i>МПИ, лет ±s</i>	<i>Величина выборки</i>
ЮЗ	61±8	11
СВ	86±11	13
Болота	139±17	7
Равнины	68±14	7
Все ПП	82±7	38

ЮЗ - юго-западные склоны; СВ - северо-восточные склоны; ПП – пробные площади

Периодичность пожаров в лиственничниках зависит от орографии территории: минимальные величины МПИ соответствуют склонам юго-западной экспозиции, максимальные - болотам (табл. 1). Средние значения МПИ близки к данным Панюшкиной и Арбатской [16]: 82 ± 48 лет. Согласно Ивановой [17], периодичность пожаров в Центральной Эвенкии составляет 90 лет (минимальные значения – 61 год, максимальные – 120 лет). Высокая дисперсия МПИ в цитируемых работах есть следствие усреднения величин МПИ без учета ландшафтной приуроченности гарей. Фурье-анализ данных числа пожаров позволил выделить малый (36 лет) и большой (82 года) циклы пожарной опасности. Первый из них близок к циклу Брикнера (средняя продолжительность которого 35 лет), второй, возможно, связан с вековым (60-120 лет) солнечным циклом [18]. На экосистемном уровне малому циклу соответствуют слабые, длительному - сильные (“породосменные”) пожары. Аналогичные циклы (41 и 101 год) наблюдаются в динамике радиального прироста лиственницы. Влияние пожаров на прирост, как упоминается выше, было исключено отбором образцов в древостоях, не затронутых пожарами в течение > 200 лет. Если учесть, что исследуемые древостои располагались на северо-восточных склонах (с цикличностью пожаров 41 и 96 лет), то наблюдается практически полное совпадение циклов радиального прироста и пожарной опасности. Указанный феномен объясняется лимитирующим влиянием летних температур на радиальный прирост древесных растений в высоких широтах [19]; в то же время повышение температуры благоприятствует возникновению пожаров. Это подтверждается обратной зависимостью между частотой пожаров и вариабельностью ширины годичных колец для древостоев, подверженных периодическим пожарам [20].

Временные тренды пожарной опасности

Сравнение МПИ в 19 и 20 веках было основано на выборке, которая включала деревья возрастом > 200 лет. Результаты анализа динамики пожаров за последние два столетия указывают на возрастание числа пожаров и сокращение МПИ. В XX столетии время «оборота огня» сократилось примерно на 1/3 - до 65 лет по сравнению со ~ 100-летним циклом в предшествующем периоде (табл. 2).

Таблица 2. Средние величины МПИ в XIX и XX веках

	<i>МПИ, лет ±s,</i>	<i>Величина выборки</i>
XIX век		
ЮЗ	93 ± 29	3
СВ	109 ± 25	6
Болота	125 ± 20	6
Все ПП	101 ± 12	20
XX век		
ЮЗ	58 ± 8	11
СВ	74 ± 11	11
Болота	81 ± 27	4
Все ПП	65 ± 6	30

ЮЗ - юго-западные склоны; СВ - северо-восточные склоны; ПП – пробные площади

Возрастание частоты пожаров происходит на фоне значимого ($p > 0.05$) тренда температур в XX столетии. Для оценки взаимосвязи этих переменных использованы реконструкции летних температур на региональном уровне (северо-восток Сибири [21]), субконтинентальном (север Евразии [22]), и глобальном (средние температуры северного полушария: [23]). Установлена значимая связь частоты пожаров с региональными температурами: $Rns = 0.44$, $Tns = 0.23$, $p > 0.01$, где Rns , Tns – коэффициенты кросс-корреляции и τ -параметр Кендалла (на субконтинентальном и глобальном уровнях связи незначимы). Дальнейший анализ был основан на учете катастрофических пожаров 1914-1916 гг., охвативших не только Центрально-Тунгусскую провинцию, но и весь сибирский регион [24, 25]. Вслед за этой экологической катастрофой (леса были уничтожены на площади $\sim 160,000$ км²), несмотря на положительный температурный тренд, происходит уменьшение числа пожаров, обусловленное изъятием горючих материалов предшествовавшими пожарами (рис. 2). Аналогичное явление наблюдается после максимума пожаров, соответствующего ~ 1846 г. (рис. 2). В работах (Bessie, Johnson, 1995; Swetnam, Baisan, 1996) [3, 4] также отмечена значимость запасов горючих материалов в возникновении пожаров. Длительность периода “рефрактерности” соответствует минимальному (~ 25 лет) времени накопления горючих материалов для последующего пожара; указанный временной интервал был исключен из дальнейшего анализа. После коррекции статистики приняли следующие значения: $Rns = 0.67$, $Rna = 0.43$, $Rnh = 0.37$; $p > 0.99$; $Tns = 0.48$, $Tna = 0.35$; $p > 0.05$, где Rna , Rnh – коэффициенты кросс-корреляции для регионального и глобального уровней, Tna – τ -параметр для регионального уровня.

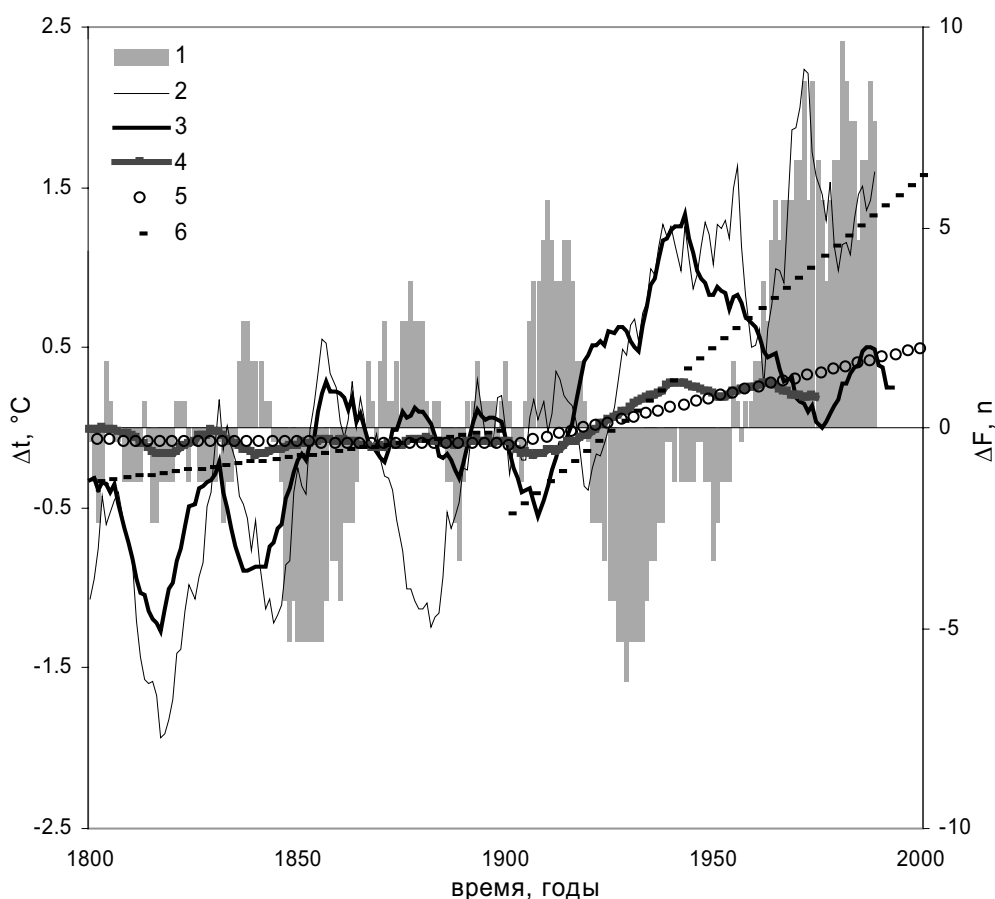


Рис. 2. Динамика пожаров ($\Delta F, n$) и температуры воздуха ($\Delta t, ^\circ C$) в XIX – XX столетиях (отклонения от среднего). 1 - частота пожаров, 2, 3, - летние температуры воздуха для северо-востока Сибири (Panushkina et al, 1999) и севера Евразии (Наурзбаев и др., 2003), 4 - среднегодовые температуры северного полушария (Mann, Jones, 2003). Прямые линии - временные тренды аномалий температур северного полушария (5) и частоты пожаров (6) в XIX и XX столетиях.

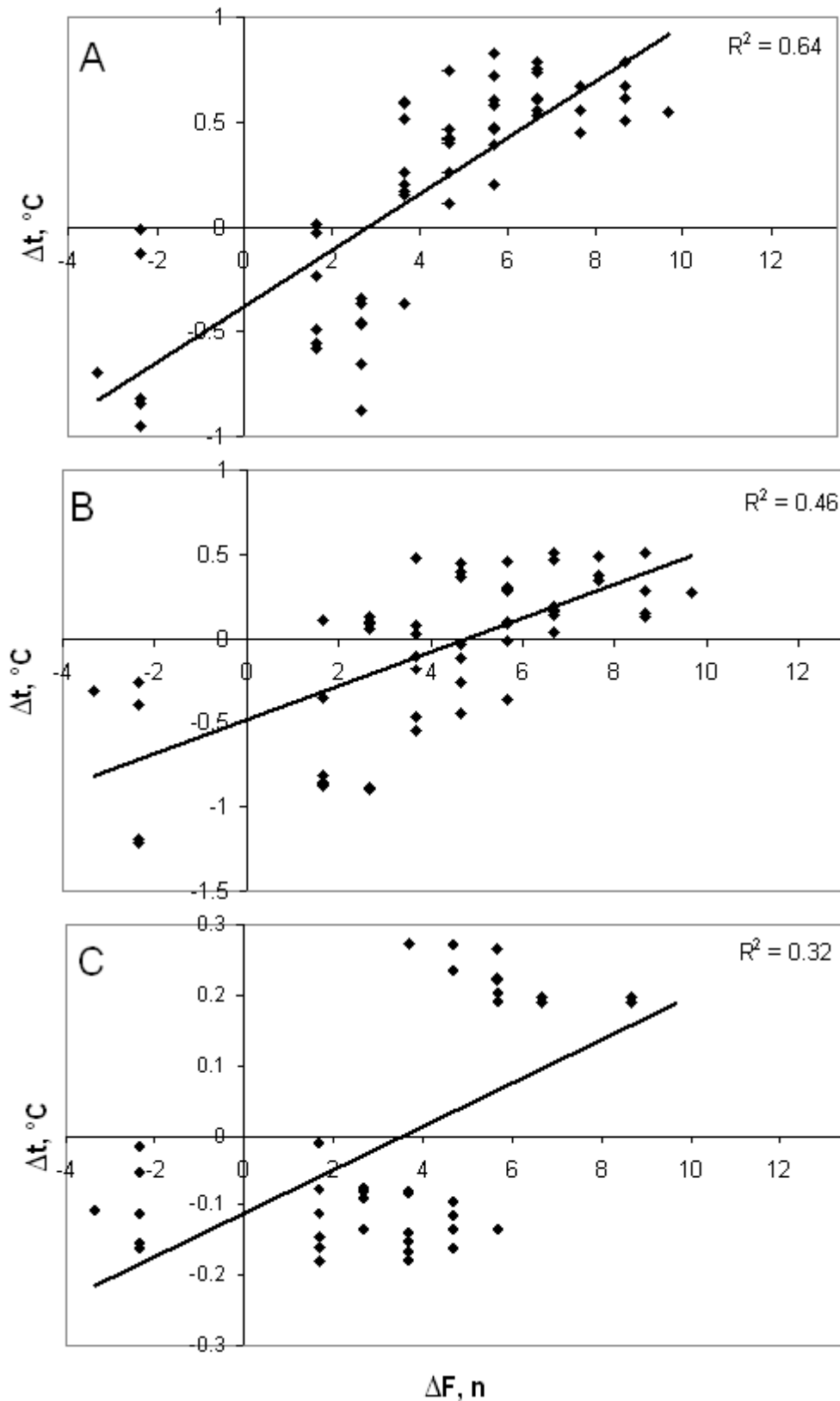


Рис. 3. Взаимосвязь аномалий пожаров ($\Delta F, n$) и температур воздуха (отклонения от среднего) для (A) регионального (Panushkina et al., 2003), (B) субконтинентального (Naurzbaev et al., 2004), и (C) глобального (Mann et al., 2003) уровней

На заключительном этапе анализировалась связь между аномалиями пожаров ($>\sigma$) и температурой (рис. 3). Представленные на рис. 3 данные рассчитаны для XIX и XX столетий отдельно, что минимизирует влияние временных трендов частоты пожаров (рис.2). Как следует из рис. 3, между аномалиями пожаров и температурой наблюдается более тесная связь, чем при анализе общего числа пожаров. Коэффициенты

корреляции последовательно возрастают при переходе от глобального ($Rnh^2 = 0.32$) к субконтинентальному ($Rna^2 = 0.46$) и региональному ($Rns^2 = 0.64$) уровням ($p > 0.01$).

Воздействие пожаров на вечную мерзлоту

Динамика глубины оттаивания на гаях приведена на рис. 4 (данные получены для периода наиболее полного оттаивания почвогрунтов, т.е. второй половины августа). В процессе увеличения давности гари наблюдается снижение средней глубины оттаивания с 80-100 см (~60 см для болот) до ~30 см через 180 лет. Представленные на рис. 4 данные позволяют оценить скорость повышения уровня мерзлоты после пожара; в среднем она составляет 0.3 ± 0.064 см/год, для болот эта величина ниже и равна 0.14 ± 0.069 см/год. Подъем мерзлотного слоя обусловлен возрастанием толщины теплоизолятора - мохово-лишайникового покрова (рис. 5). Скорость роста последнего оценивается величиной 0.07 ± 0.014 см/год. Согласно некоторым оценкам, время восстановления высоты мохово-лишайникового покрова составляет 30-50 лет [26], что превышает полученные нами данные. Мохово-лишайниковый покров (вместе с торфянистым горизонтом) при высыхании превращается в горючий материал, создающий в засушливые периоды условия для возникновения устойчивых пожаров на обширных территориях, охватывающих миллионы гектаров. Отметим, что увеличение послепожарной глубины оттаивания почвогрунтов является одной из причин ускоренного роста выживших после пожара деревьев; длительность этого периода составляет, по нашим оценкам, 10-30 лет. Последующее повышение уровня мерзлоты ограничивает развитие корневой системы древесных растений в поверхностном слое (30 см и менее). Поэтому, несмотря на то, что ствол лиственницы защищен толстой коркой, повреждение огнем ее корневой системы приводит к усыханию древостоев.

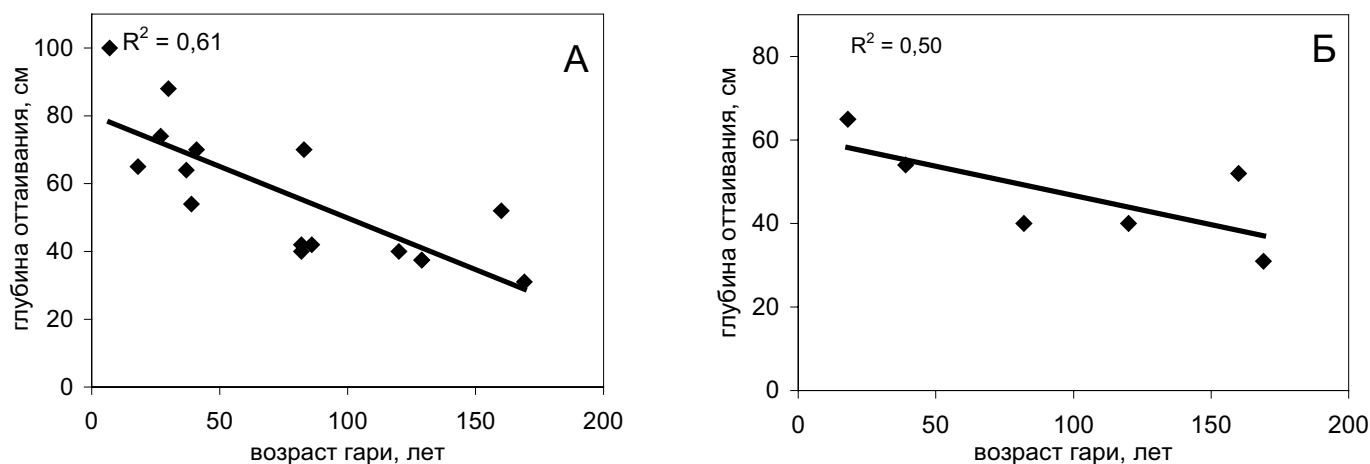


Рис. 4. Глубина оттаивания почвы на гаях. А – для всех участков, Б – для болот.

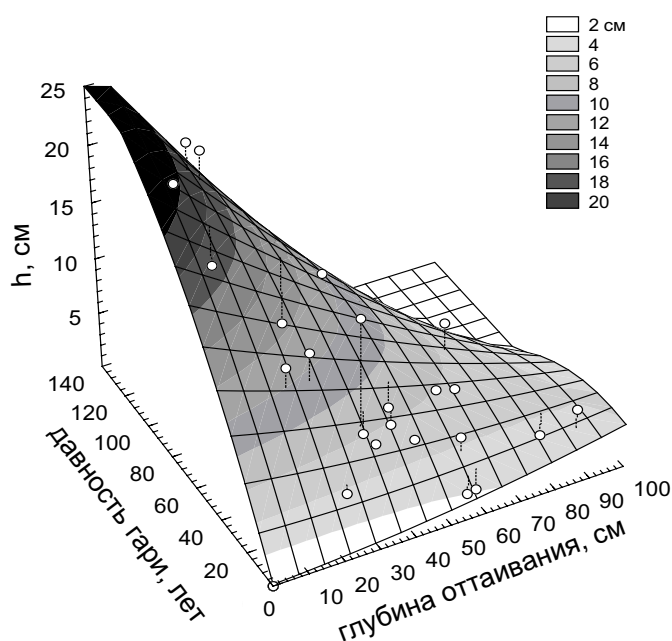


Рис. 5. Зависимость между толщиной мохово-лишайникового покрова (h), давностью гари и глубиной оттаивания почвогрунтов.

Результаты и обсуждение

Пожары – неотъемлемый элемент лесных территорий с преобладанием лиственницы. Для оценки средней площади ежегодно возникающих гарей использовались данные SPOT VEGETATION (период с ~1996 по 2000 гг.). Анализируемая территория охватывала зону доминирования лиственницы в азиатской части России (~ 220 млн. га, или ~80% площади всех лиственничников). Установлено, что с 1996 по 2000 гг. ежегодно в гари в среднем переводилось 0.25% лесной территории, что согласуется с результатами [27, 28]. Следует отметить, что эти данные являются приближенной оценкой, поскольку методика определения площади гарей, а также их возраста по данным SPOT VEGETATION требует дальнейшей разработки.

Величины межпожарных интервалов в лиственничниках Средней Сибири для различных элементов рельефа существенно неодинаковы, варьируя от 61 ± 8 лет для юго-западных склонов до 139 ± 17 года для болот. Эти данные представляют как самостоятельный интерес, так и необходимы для целей моделирования (например, воздействия климатических трендов на частоту пожаров, прогноза индуцированных пожарами сукцессий и т.п.). Значимым представляется обнаруженный временной тренд в частоте пожаров, следствием которого стало: частота пожаров в возросла по сравнению веком, что привело к уменьшению межпожарного интервала со ~100 лет в XX веке до 65 XIX-ом (в смешанных насаждениях Енисейского кряжа, согласно полученным оценкам, эти величины составляют 94 и 55 лет, соответственно). Возрастание частоты пожаров и уменьшение МПИ в XX веке есть результирующая (1) антропогенной и (2) природной составляющих. Первая составляющая (геолого-разведочные работы) сказывалась преимущественно в 40-80-х годах прошлого столетия; однако в последние 15 лет этот фактор практически прекратил действовать. Ведущей причиной пожаров (до 45%) даже в наиболее населенной части Эвенкии (~8% от общей площади лесов) являются грозные разряды [29]. На остальной части территории молнии являются причиной до 90% пожаров [30]. Следует отметить высокую «эффективность» молниевых разрядов в зоне вечной мерзлоты: поскольку на границе с мерзлотным слоем наблюдается скачок проводимости, это приводит к высвобождению энергии в узком (<30 см) корнеобитаемом слое, включающем лишайниково-моховой покров. Увеличение высоты последнего (со средней скоростью 0.07 см/год) создает условия для возникновения и поддержания пожаров на обширных территориях.

Вместе с тем возрастание частоты пожаров может способствовать сохранению доминирования лиственницы, поскольку в криолитозоне, несмотря на защищенность ствола лиственницы толстой коркой (до 20% объема ствола), основной причиной ее послепожарного усыхания является повреждение огнем корневой системы, «спрессованной» в узком верхнем горизонте почвогрунтов. С возрастанием глубины корнеобитаемого слоя следует ожидать увеличения резистентности лиственницы: известно, что вне зоны вечной мерзлоты она является наиболее огнестойким видом. Вследствие прогнозируемого возрастания температуры воздуха в высоких широтах (на 4 - 6 °C к 2100 году [31]) следует ожидать дальнейшего сокращения МПИ (нижняя граница которого в настоящее время составляет ~ 25 лет) и трансформации северных лиственничников из зоны стока углерода в источник парниковых газов. Вышеизложенное указывает на определяющую роль климатических изменений в возрастании частоты пожаров в 20-м столетии.

Возрастание частоты пожаров, неравномерное по элементам рельефа, оказывает влияние на видовое разнообразие северных ландшафтов. Накапливаются свидетельства экспансии “вечнозеленых хвойных” (ель, кедр, пихта) в зону доминирования лиственницы, на связь этого феномена с повышением температуры в высоких широтах и динамикой пожаров. Гари представляют “стартовые площадки” для миграции указанных выше видов в традиционную среду преобладания лиственницы, поскольку на гарях возрастает глубина сезонного оттаивания почвогрунтов (до 1.0-1.4 м), улучшаются радиационный режим, условия минерального питания и дренажа. Лиственница, в свою очередь, на крайнем пределе своего произрастания увеличивает сомкнутость древостоев и продвигается в зону тундры [9, 32]. Результатом этого процесса может стать достижение лиственницей побережья Арктики – феномена, наблюдавшегося в голоцене [33], тогда как часть традиционной зоны лиственничников будет представлена видами, характерными для средней и южной тайги.

Работа поддержана грантом РФФИ 05-05-97714-Ен

Литература

1. IPCC Climate change 2001, The Scientific Basis. // Third Assessment Report. 2001, Vol. 1, Cambridge University Press
2. Hansen, J.R. Ruedy, MKI, Sata K. Lo. Global warming continues. // Science. 2002. 295 (5553). P. 275-275.
3. Bessie, W.C., Johnson, E.A. The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forests. // Ecology, 1995, 76: 747-762.
4. Swetnam, T.W., Baisan, C.H. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since AD 1700. // Proceedings of the Second La Mesa Fire Symposium: Fire Effects in Southwestern Forests, Los Alamos, N.M., 29-31 March 1994. Edited by C.D. Allen. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-286. 1996, P. 11-32

5. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. Москва, 1962, 153 с.
6. Rollins M.G., Morgan P., Swetnam T. Landscape-scale controls over 20(th) century fire occurrence in two large Rocky Mountain (USA) wilderness areas. // Landscape Ecology, 2002, 17 (6), 539-557.
7. Beaty R.M., Taylor A.H. Spatial and temporal variation of fire regimes in a mixed conifer forest landscape, Southern Cascades, California, USA // Journal of Biogeography, 2001, 28 (8), 955-966.
8. Vazquez A., Moreno J.M. Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain) // Forest Ecology And Management, 2001, 147 (1), 55-65.
9. Харук В.И., Им С.Т., Рэнсон К. Дж., и др. Временная динамика лиственницы в экотоне лесотундры//ДАН, 2004, 398, № 3, с. 1-5.
10. Abaimov A.P., Zyryanova O.A., Prokushkin S.G. Long-term investigations of larch forest in criolitic zone of Siberia: brief history, recent results and possible changes under global warming. //Eurasian J. of Forest research, 2002, 5-2: Pp. 95-106.
11. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 174 с.
12. Naurzbaev M. M., Hughes M.K., Vaganov E.A. Tree-ring growth as sources of climatic information. //Quaternary research, 2004, 62. 126-133.
13. Holmes, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. //Tree-ring Bulletin. 1983, V.44, P. 69-75
14. Rinn F. Tsap V. 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. // Bierhelder weg 20, D-69126, Heidelberg, Germany, 1996. - 263 p.
15. StatSoft, Inc. 2003 Nonparametric Statistics. <http://www.statsoft.com/textbook/stnonpar.html>
16. Панюшкина И.П., Арбатская М.К. Дендрохронологический подход в исследовании горимости лесов Эвенкии. // Сибирский экологический журнал, Т.6, № 2. 1999. с.167 – 173
17. Иванова Г.А. Экстремальные пожароопасные сезоны в лесах Эвенкии. // Сибирский экологический журнал, Т. 3, №1 Январь-февраль 1996. С. 29-34.
18. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., и др. Климатология. Ленинград Гидрометеиздат 1989. 568 с.
19. Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirilyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. Nature // Nature. 1999. V. 400. P. 149-151.
20. Swetnam T.W. Fire and Climate History in the Central Yenisey Region, Siberia. // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia, 1996, J.G. Goldammer, V.V. Furyaev (eds). 90-104
21. Panyushkina I.P., Huges M.K., Vaganov E.A., et.al. Summer temperature in northeastern Siberia since 1642 reconstructed from tracheid dimensions and cell numbers of *Larix cajanderi* // Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33, 1905-1914
22. Наурзбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В.. Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий//, Криосфера Земли, 7, №2, 2004. с.84-91
23. Mann, M.E., Jones P.D. Global Surface Temperatures over the Past Two Millennia.// Geophysical Research Letters, 2003, 30, No. 15, 1820.
24. Красноярский край. Ред. М.В. Кириллов, Ю.А. Щербаков. Красноярск, Красн. Кн. Изд., 1961. 404 с
25. Леви К.Г., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е.и др. Современная геодинамика и гелиодинамика. Иркутск, изд-во Ир-ГТУ. 2003. – 383 с.
26. Sofronov M.A., Volokitina A.V., Kajimoto T. Ecology of Wildland Fires and Permafrost: Their Interdependence in the Northern Part of Siberia // Proceedings of the eighth symposium on the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 1999, 211-218 pp
27. Ranson, K.J., Sun G., Kovacs K., et.al. MODIS NDVI Response Following Fires in Siberia. Proceedings of IGARSS03 Vol. 5. 2003, Toulouse, France. P. 3290-3292
28. Kovacs K., Ranson K., Sun G., et.al. The Relationship of the Terra MODIS Fire Product and Anthropogenic features in the Central Siberian Landscape //Earth Interactions, 2004, vol.8, No. 18, P.1-25. <http://earthinteractions.org/>.
29. Схема организации и развития авиационной охраны лесов от пожаров по Эвенкийскому автономному округу., М., Росгипролес, 2001. 103 с.
30. Иванов В.А, Иванова Г.А. // Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне. Ред. Фуряев В.В. М.: Алекс, 2004. С. 147-150.
31. Gordon C., Cooper C., Senior C. et. al. The simulation of SST, sea-ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. // Climate Dynamics, 2000. 16: 147-168
32. Kharuk V.I., Fedotova E.V. Forest-tundra ecotone dynamics. //Arctic environment variability in the context of global change. (K.Y. Kondratyev, O.M. Johannessen, L.P. Bobylev Eds.). Springer-Practice, Heidelberg. 2003 P. 281-299.
33. Антропоген Таймыра. Под ред. Н.В. Кинд, Б.Н. Леонова. М., Наука, 1982. 182 с.