

Дендрохронологический подход в исследовании горимости лесов Эвенкии

И. П. ПАНИЮШКИНА, М. К. АРБАТСКАЯ

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Ака демгородок*

АННОТАЦИЯ

В Эвенкии (зона северной тайги Средней Сибири) высокие летние температуры увеличивают горимость лиственничных лесов. Получена региональная древесно-кольцевая хронология, изменчивость индексов ширины годичных колец которой зависит от колебаний летней (преимущественно июньской) температуры. Выявлена значимая положительная связь между изменениями летней температуры, изменчивостью прироста деревьев и числом пожаров, что позволяет использовать древесно-кольцевую хронологию для ретроспективной оценки горимости лесов. По хронологии дат пожарных поранений найдено, что средний межпожарный интервал в лиственничниках района р. Нижней Тунгуски составляет 82 года. Оценены территория, ежегодно повреждаемая лесными пожарами, и возможные пределы ее варьирования в годы с различной температурой июня и июля.

ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары – естественные регуляторы развития лесных экосистем, возникающие при определенных метеорологических условиях, наличии горючего материала и пожарной зрелости лесов [1]. Для определения даты пожаров и построения хронологий лесных пожаров в лесной пирологии применяется дендрохронологический метод [2, 3]. Полученная информация имеет большое значение для установления пирологического режима таежных экосистем, изучения его влияния на процессы лесообразования, реконструкции климатических условий [2, 4–6].

В лесах Эвенкии крупные пожары возникают в июне, максимум их приходится на первую декаду июля. Вспышки массовых пожаров обусловлены длительными периодами без дождей (до 45 дней) в июне–июле, вызывающими понижение относительной влажности воздуха за счет повышения температуры [7]. Летний максимум осадков приходится на вторую по-

ловину июля (по наблюдениям метеостанций Тура, Тутончаны). Выпадение осадков в пожароопасный сезон снимает пожарную опасность от 1–3 дней до 10 в зависимости от типа лиственничника [5], но не снимает общей угрозы возникновения крупных и интенсивных пожаров в редкостойных лиственничниках с характерным надпочвенным покровом из кустистых лишайников и зеленых мхов.

Как показано ранее [8], территория северной и центральной Эвенкии относится к одному дендроклиматическому району севера Средней Сибири, в пределах которого лиственница, растущая в разных экологических условиях, обладает схожей изменчивостью радиального прироста, управляемой общим лимитирующим климатическим фактором [9]. Дендроклиматический анализ показал, что прирост лиственницы в данном районе связан с температурой июня и июля [10]. Таким образом, на исследуемой территории можно предполагать наличие тесной взаимосвязи между климатическим параметром, лимитирующим рост лиственницы

(температура июня и июля), и условиями формирования экстремальных пожароопасных сезонов.

Задачи исследования:

а) получить региональную древесно-кольцевую хронологию по центральной части Эвенкии и исследовать ее климатическую функцию ответа;

б) определить по данным пожарных поранений средний межпожарный интервал и сезонную приуроченность пожарных поранений;

в) исследовать корреляцию между числом пожаров по многолетним данным авиалесоохранны и климатически обусловленными колебаниями прироста лиственницы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Летом 1993 г. по течению р. Н. Тунгуски собраны материалы для дендрохронологического анализа (рис. 1). В шести участках типичных лиственничников отобраны керны древесины с не менее чем 10–15 деревьев без видимых пожарных поранений для построения обобщенных по отдельным местообитаниям древесно-кольцевых хронологий. В других семи лиственничниках (см. рис. 1) отобраны диски деревьев лиственницы и кедра, имеющие выраженные послепожарные подсушины с несколькими пожарными поранениями. На кернах древесины проведены измерения ширины годичных колец с точностью 0,001 мм, и после процедуры перекрестной датировки [11] индивидуальные серии стандартизовались с помощью сплайн-

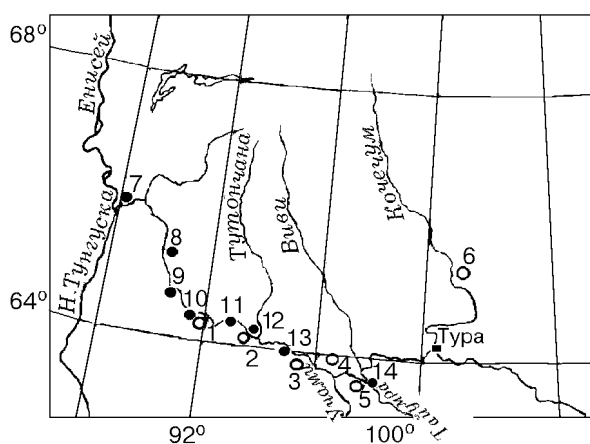


Рис. 1. Карта-схема участков сбора образцов для получения хронологии пожаров (1–6) и построения региональной древесно-кольцевой хронологии (7–14).

функции [12] и полученные индексы осреднялись в обобщенную хронологию [13]. В расчетах статистических характеристик хронологий (стандартное отклонение, чувствительность, синхронность), корреляции между обобщенными хронологиями и климатических функций ответа использовались стандартные программы библиотеки анализа годичных колец [14], базирующиеся на методических подходах, разработанных и изложенных в ряде обобщающих работ [15, 16].

Диски с послепожарными подсушинами тщательно полировали, пожарные поранения датировали с использованием полученных обобщенных хронологий [17, 18]. Определяли также положение пожарного поранения в зонах ранней, поздней древесины или на период покоя камбия в соответствии с методическими рекомендациями [19, 20].

Использовали климатические данные по метеостанциям Тура, Учами, Ногинск, а также сведения П/О Авиалесоохраны о количестве пожаров за пожароопасный сезон на охраняемых территориях Эвенкии с 1979 по 1995 гг., приведенные в работе [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Региональная (генерализированная) древесно-кольцевая хронология и ее климатическая функция ответа. Статистические характеристики обобщенных хронологий по отдельным местообитаниям приведены в табл. 1. Отметим высокие величины дисперсии, чувствительности, отношения сигнал/шум, значительную автокорреляцию в хронологиях. Статистические оценки свидетельствуют о том, что в изменчивости индексов прироста содержится сильный климатический сигнал. Взаимная корреляция полученных обобщенных хронологий (табл. 2) высока, синхронность изменяется в пределах 72–86 %, поэтому можно заключить, что во всех хронологиях содержится сильный и общий для региона климатический сигнал. Для усиления этого сигнала по обобщенным хронологиям была получена генерализированная (региональная) хронология [13, 15]. Основные статистические характеристики региональной хронологии приведены в табл. 3. Отметим, что региональная хронология сохраняет высокие

Статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий для района р. Н. Тунгуски

№ хронологии	Период	Количество моделей	Стандартное отклонение	Коэффициент чувствительности	Автокорреляция	Асимметрия	Отношение сигнал/шум
1	1611–1992	13	0,28	0,23	0,49	0,29	21,4
2	1679–1992	12	0,29	0,27	0,37	0,34	20,8
3	1617–1992	12	0,34	0,26	0,59	0,35	17,7
4	1612–1992	15	0,37	0,26	0,64	0,82	20,2
5	1670–1992	11	0,32	0,25	0,61	0,03	15,3
6	1745–1989	11	0,26	0,24	0,41	0,01	15,6

значения стандартного отклонения, чувствительности, и в ней практически отсутствует автокорреляция.

Климатическая функция ответа региональной хронологии показывает значимое положительное влияние температур июня и июля на изменчивость прироста (рис. 2, А) и отсутствие влияния осадков. Суммарно летние температуры объясняют 67 % изменчивости прироста. При этом относительное влияние температуры июня существенно превышает влияние температуры июля. В более северных лиственничных лесах относительное влияние температуры июля выше, чем июня [16]. Для Эвенкии, расположенной южнее, сезонный ход температуры выше на 2–3 °С, чем для более северных районов, вследствие этого начало активности камбия и формирование прироста смещается на более ранние сроки (начало июня) и относительный вклад условий в июне на формирование годичных колец и прироста древесины возрастает. Об этом свидетельствуют и косвенные данные, полученные с помощью имитационного моделирования сезонного роста годичного кольца [16, 21].

Таблица 2

Коэффициенты корреляций локальных древесно-кольцевых хронологий для района р. Н. Тунгуски (за период с 1745 по 1990 г.)

№ хронологии	1	2	3	4	5	6
1	1,00					
2	0,69	1,00				
3	0,62	0,73	1,00			
4	0,52	0,63	0,68	1,00		
5	0,62	0,62	0,49	0,46	1,00	
6	0,57	0,53	0,51	0,50	0,60	1,00

Таким образом, изменчивость индексов прироста в региональной хронологии прямо связана с изменением температуры июня и июля, причем относительный вклад температуры июня гораздо выше (в 2–2,5 раза по оценкам коэффициентов регрессии функции ответа), т. е. уменьшение индексов прироста свидетельствует о понижении летних температур, повышение – об их возрастании.

2. Оценка внутрисезонной приуроченности пожаров и среднего межпожарного интервала. Сезонная приуроченность каждого из пожаров, определенная по морфологии пожар-

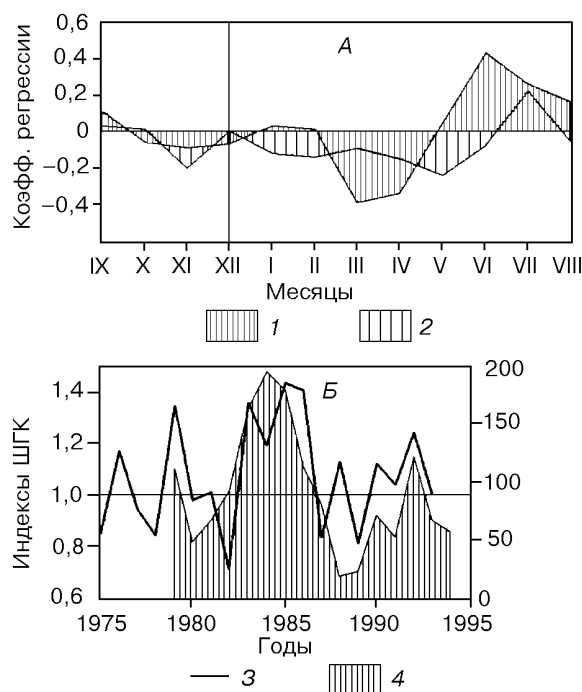


Рис. 2. Климатическая функция ответа региональной древесно-кольцевой хронологии на температуру (1) и осадки (2) отдельных месяцев (А) и сопоставление (Б) индексов прироста (3) с числом пожаров (4).

Основные статистические характеристики региональной хронологии за период 1611–1992 гг.,
I – стандартная хронология, II – хронология, обработанная авторегрессионной моделью

	Количество моделей	Стандартное отклонение	Коэффициент чувствительности	Автокорреляция		Коэффициент асимметрии
				1-го порядка	2-го порядка	
I	84	0,24	0,21	0,43	0,35	0,075
II	84	0,21	0,25	-0,08	-0,04	-0,169

ных поранений на всех исследуемых образцах, показала, что большинство пожаров происходит в период формирования ранней древесины годичного кольца (рис. 3). Это полностью соответствует данным оценки пожарной опасности отдельных месяцев [7] и данным о сроках формирования годичных колец в Эвенкии. Действительно, ранняя древесина формируется в июне и первой декаде июля, поздняя древесина начинает формироваться в июле и заканчивает формирование в первой–второй декаде августа. Совсем небольшое число пожаров приходится на время покоящегося камбия, вероятно, это ранневесенние (до начала его активности) и осенние (конец августа–сентябрь) пожары. Полученные данные по сезонной приурочен-

ности пожаров подтверждают и основное предположение о существовании тесной связи между термическими условиями летних месяцев, приростом годичных колец и пожарной опасностью.

Полученные обобщенные (composite) хронологии пожаров по отдельным местообитаниям позволяют оценить средний межпожарный интервал и его вариации во времени в соответствии с методическими рекомендациями [17, 22]. По данным семи участков получаем (см. рис. 3), что средний межпожарный интервал (MFI) равен 82,2 года, а стандартное отклонение – 47,8 года. Средний межпожарный интервал существенно больше, чем в сосняках средней тайги [23], и имеет значительные колебания как в пространстве, так и во времени. Вероятно, что основное влияние на увеличение среднего межпожарного интервала в северных лиственничниках Эвенкии оказывает замедленный рост деревьев и вследствие этого – медленное накопление горючего материала и меньшая частота источников огня.

3. Сравнение региональной хронологии с числом пожаров. Для периода с 1979 по 1994 г. была возможность сопоставить данные авиалесоохраны по числу пожаров на охраняемой территории Эвенкии [7] с дендрохронологическими данными. Результат представлен на рис.2,Б. Четко проявляется положительная корреляция числа пожаров и индексов прироста региональной хронологии. Коэффициент корреляции равен 0,633 ($p < 0,01$). Период ускоренного роста, вызванного увеличением температуры июня и июля, в 1982–1987 гг. сопряжен с увеличением числа пожаров, тогда как в последующий период (с 1988 по 1991 г.) наблюдаются сокращение числа пожаров и депрессия прироста.

Таким образом, для исследованного района Эвенкии летняя температура (и в большей сте-

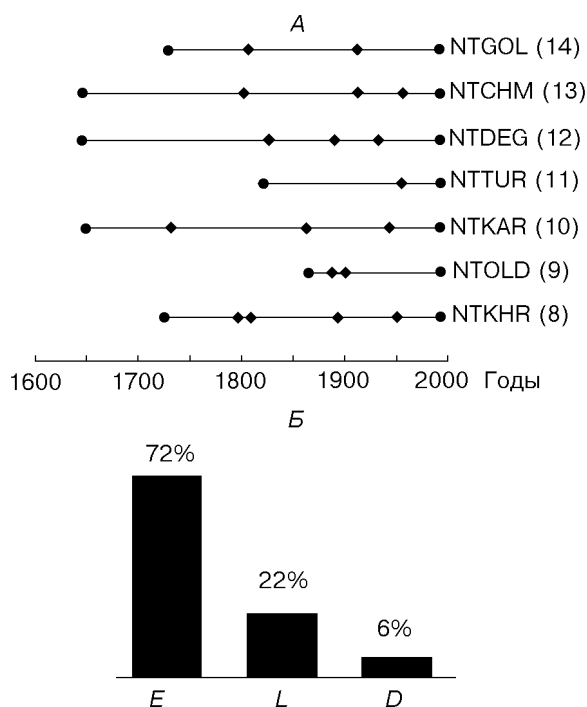


Рис. 3. Обобщенные хронологии пожаров для семи исследуемых участков (А) и распределения пожарных поранений по зонам годичных колец (Б):

Е – зона ранней древесины, L – зона поздней древесины, D – поранения в период покоящегося камбия.

пени температура июня) определяет изменчивость следующих характеристик: а) прироста деревьев (индексы ширины годичных колец); б) числа лесных пожаров; в) сезонной приуроченности пожаров (в основном преобладание пожаров в период формирования ранней древесины).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявленная связь между летней температурой, климатически обусловленной изменчивостью прироста деревьев в данном регионе и сезонной приуроченностью пожаров позволяет использовать дендрохронологические данные (хронологии) для ретроспективной оценки горимости лесов Эвенкии в прошлом (рис. 4). По дендрохронологическим данным за последние 300 лет выявляется несколько периодов с потенциально высокой горимостью лесов (высокой летней температурой): 1700–1740, 1770–1795, 1860–1895, 1950–1990 гг. В течение этих периодов процент лет с высоким приростом (с высокой летней температурой) колеблется от 30 до 45. Периоды с преобладанием лет с низким приростом (низкой летней температурой): 1800–1850, 1900–1950 гг. Однако более суще-

ственны циклические колебания с меньшим периодом (рис. 4,Б). После 1750 г. особенно четко прослеживается цикл в изменчивости прироста и летней температуры, равный 18 годам. Текущий период приходится на начало возрастающей ветви такого цикла, поэтому можно ожидать увеличения числа пожаров в Эвенкии в ближайшие годы. Нет сомнения, что выявленные циклические летней температуры и горимости важны для оценки современной мозаичности лиственных лесов Эвенкии по возрастному составу, по стадиям сукцессии, по потенциальной продуктивности.

Весьма важная информация заключена в реконструированной по хронологии пожаров величине среднего межпожарного интервала. Известно, что леса Эвенкии горят ежегодно, но число пожаров и размер лесной территории, пройденной пожарами, сильно меняются год от года [7, 24]. Согласно полученному среднему межпожарному интервалу, при абсолютно случайном распределении пожаров во времени и пространстве оказывается, что ежегодно в среднем 1,2 % лесной территории Эвенкии подвергается воздействию пожаров. 1979 г. характеризовался повышенной горимостью лесов Эвенкии и, соответственно, высокими индексами прироста деревьев (см. рис. 4). В. В. Фуряев, анализируя космоснимки [24], определил, что общая площадь поврежденных пожарами лиственных лесов на части территории в бассейне р. Н. Тунгуски в 1979 г. составила 452 800 га, при общей обследованной площади $20,26 \cdot 10^6$ га. С учетом лесистости в 80 % [25, 26], обследованная территория лесов составила около $16,21 \cdot 10^6$ га. Таким образом по отношению к общей обследованной лесной площади общая площадь гарей 1979 г. составила 2,8 %. Отсюда в жаркий 1979 г. поврежденная пожарами лесная территория оказалась больше средней (1,2 %) в 2,3 раза. С другой стороны, корреляция индексов прироста и числа пожаров (см. рис. 2,Б) показывает, что в 1979 г. прирост лиственницы был очень высоким и число пожаров должно было возрасти в 2 раза. Это достаточно хорошо согласуется с прямыми измерениями доли поврежденных лесной территории в 1979 г., выполненными по космоснимкам [24].

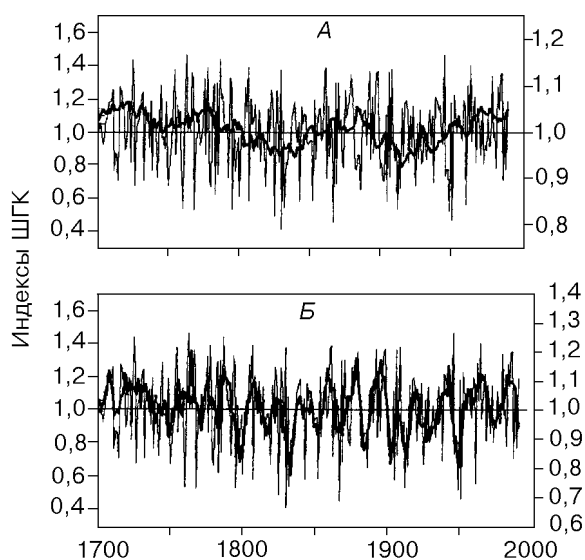


Рис. 4. Региональная древесно-кольцевая хронология, сглаженная 25- (А) и 5-летней (Б) скользящими средними (слева шкала для индексов исходной хронологии, справа – для сглаженных значений индексов).

Простой расчет, полученный с использованием других источников информации (космоснимки), подкрепляет основной вывод работы о существовании связи между термическими условиями летних месяцев, приростом деревьев, числом пожаров и средним межпожарным интервалом.

ВЫВОДЫ

1. Для лиственничных лесов Эвенкии существует значимая положительная связь между температурой летних месяцев (особенно июня), климатически обусловленной изменчивостью прироста деревьев и горимостью (числом пожаров) территории.

2. Региональная древесно-кольцевая хронология может быть использована для выявления периодов повышенной и пониженной горимости лесов Эвенкии в прошлом и прогноза изменчивости пожарной опасности на основе выявленных циклических составляющих.

3. Средний межпожарный интервал в исследованных лиственничниках составил 82,2 года. При известных допущениях по его величине можно оценить процент лесной территории, ежегодно повреждающейся лесными пожарами. Этот процент равен 1,2. В сухие годы он может увеличиваться в 2–2,5 раза, а в экстремально сухие (при величинах индексов прироста деревьев, равных или более 1,5) – в 3–3,5 раза.

4. В многолетней изменчивости прироста и летней температуры в северной и центральной частях Эвенкии наблюдаются циклические изменения. Преобладающее проявление 18-летнего цикла позволяет осуществить прогноз потенциальной горимости лесов на ближайший период времени.

Работа получила финансовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 96-04-48258 и 97-04-48028) и ISF (грант RKT000). Авторы также благодарят Е. А. Ваганова и В. В. Фуряева за консультации и рекомендации по материалам рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Курбатский, Вопросы лесной пирологии, Красноярск, ИЛиД СО АН СССР, 1972, 171–321.
2. В. В. Фуряев, Дендрохронологические методы в лесоведении и экологическом прогнозировании. Тез. Междунар. раб. совещания, Иркутск, 1987, 237–239.
3. Э. Н. Валендик, Г. А. Иванова, *Лесоведение*, 1996, 4, 12–19.
4. И. С. Мелихов, Влияние пожаров на лес, М.-Л., Гослестехиздат, 1948.
5. Э. Н. Валендик, П. М. Матвеев, М. А. Софронов, Крупные лесные пожары, М., Наука, 1979.
6. Н. В. Дылис, Лиственница Восточной Сибири и Дальнего Востока, М., Изд-во АН СССР, 1961.
7. Г. А. Иванова, *География и природ. ресурсы*, 1995, 3, 58–62.
8. И. П. Панюшкина, Е. А. Ваганов, В. В. Шишов, Там же, 1996, 4, 93–103.
9. И. П. Панюшкина, Е. А. Ваганов, В. В. Шишов, Там же, 1997, 1.
10. E. A. Vaganov, I. P. Panjushkina, V. V. Shishov, From the Past to the Future. Proc. Int. Symp. Asian and Pacific Dendrochronology, Tsukuba, Japan, 1995, 52–57.
11. Methods of Dendrochronology. Application in the Environmental Sciences (E. Cook, L. Kairiukstis, eds.), Dordrecht, Boston, London, Kluwer Acad. Publ., 1990.
12. E. R. Cook, K. Peters. *Tree-ring Bull.*, 1981, 41, 45–53.
13. С. Г. Шнятов. Дендрохронология верхней границы леса на Урале, М., Наука, 1986.
14. R. L. Holmes, *Tree-ring Bull.*, 1983, 44, 69–75.
15. H. C. Fritts, Tree Ring and Climate. London-NY-San Francisco, Acad. press, 1976.
16. Е. А. Ваганов, С. Г. Шнятов, В. С. Мазепа, Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике, Новосибирск, Наука, 1996.
17. J. H. Dieterich, T.W. Swetnam, *For. Sci.*, 1984, 30, 238–247.
18. С. Н. Baisan, T. W. Swetnam. *Can. J. For. Res.*, 1990, 20, 1559–1569.
19. Е. А. Ваганов, М. К. Арбатская, *Сиб. экол. журн.*, 1996, 1, 9–18.
20. T. W. Swetnam, J. L. Betacourt, *Science*, 1990, 249, 1017–1020.
21. Е. А. Ваганов, Л. Г. Высоцкая, А. В. Шашкин, *Лесоведение*, 1994, 5, 3–15.
22. T. W. Swetnam, Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia (J. G. Goldammer, V. V. Fyryaev, Eds.), Dordfrecht, Boston, London, Kluwer Acad. Publ., 1996, 90–104.
23. М. К. Арбатская, Е. А. Ваганов, *Экология*, 1997, 5.
24. В. В. Фуряев, *Исследование земли из космоса*, 1993, 4, 83–93.
25. Леса СССР, т. 4., М., Наука, 1969.
26. Углерод в экосистемах лесов и болот России (В. А. Алексеева, Р. А. Бердси), Красноярск, 1994.

Dendrochronological Approach to Study of Flammability of Forests in Evenkia (Siberia)

I. P. PANUYSHKINA, M. K. ARBATSKAYA

Institute of Forest Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk

In Evenkia the high summer temperatures increase flammability of larch forests. The aims of the paper were: 1) to build the regional long tree-ring chronology; 2) to determine the intraseasonal locations of fires and to estimate the mean fire interval for this region using the collection of wood disks with cross-dated fire scars from many sites; 3) to connect the observed data on fire frequency during the last 19 years with tree-ring data and climate; 4) to use the chronology for evaluation of annual flammability of forests (the long-term average and extreme values).

It is clearly shown that there is a high correlation between the summer temperature (June–July) and the tree-ring width index which indicate the rate of increase of tree growth in warm years. At the same time, there is a significant relation between the summer temperature and the number of fires and the area burned. Such relationship defines the high correlation between the tree-ring indices and the fire frequency. The analysis of anatomical features of fire scars shows that most of them occur in the early wood part of tree ring (72 %) which is formed during June and the first third of July and confirms the tree-ring data and fire frequency relationship. The estimated mean fire interval (82 years on the average) allows to evaluate the portion of territory burned by fires in Evenkia forests annually using the minor assumptions and a spatial model of flammability 1.2 % of the territory is burned by fires on the average. In extreme warm years this portion may reach 3–3.5 % according to tree-ring data. The estimations made were tested using the independent data of forest area burned by fires in the warmest 1979 year based on satellite images. In long-term aspect the tree-ring chronology reveals periods with high and low flammability of Evenkian forests. High summer temperature and fire activity were reconstructed in 1700–1740, 1770–1795, 1860–1895, 1950–1990 years, which agrees with earlier reconstructed summer temperature in the north of Central Siberia. The flammability of Evenkian forests will increase with the increase of the northern summer temperature because of good correlation between the northern hemisphere temperature and the summer temperature in the Evenkia region.