

ГЛАВА 7 ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

Б. Г. Шерстюков

ВВЕДЕНИЕ

Россия занимает особое, уникальное положение в мире по площади лесов. Общая площадь страны — около 1690 млн. га, на ее территории находится пятая часть всех лесов мира и половина мировых хвойных лесов. Общая площадь лесов в России составляет (рис. 7.1) около 1178,6 млн. га (www.forest.ru), т. е. приблизительно 70% всей площади страны. Леса играют заметную роль в поддержании и сохранении биоразнообразия, а также являются источником биоресурсов.

Ежегодно в теплую половину года в лесах при определенных условиях возникают пожары. Предпосылками больших лесных пожаров на территории России и соседних стран являются малоснежная зима, длительный период без дождя (15—20 дней) с высокой (выше средней многолетней) среднесуточной температурой воздуха и малой относительной влажностью, наличие на лесопокрытой территории бесконтрольных антропогенных источников огня и (или) частые грозовые разряды.

Хотя основной непосредственной причиной возникновения первичных очагов лесных пожаров являются ненадлежащие действия людей, посещающих лес с хозяйственной или рекреационной целями, гидрометеорологические факторы способны заметно повлиять на распространение пожаров. Таким образом, изменения климата могут оказывать воздействие на их повторяемость, интенсивность и пространственный масштаб.

ФАКТОРЫ ПОЖАРООПАСНОСТИ В ЛЕСАХ

Пожароопасная обстановка в лесах возникает при сухой и жаркой погоде. Опасность нарастает с увеличением продолжительности периода с такими условиями погоды. Соответствующие метеорологические условия являются необходимыми, но не достаточными для возникновения лесного пожара. Для возникновения и развития пожара необходимы еще два условия: наличие горючих материалов (достаточно сухой массы растений в каких-либо ярусах лесной экосистемы) и наличие источника огня (возгорания).

Лесной пожар — явление многофакторное. На возгорание массы растений влияют не только метеорологические, но и экологические факторы: видовой состав лесной экосистемы, возраст и санитарное состояние древостоя и другие. Лесные пожары, как правило, начинаются почти сразу после схода снежного покрова, если устанавливается сухая погода. Наличие сухой прошлогодней травы, подсохших эпигейных лишайников и мхов способствует возникновению пожара. В последующие месяцы влажность в этом ярусе значительно увеличивается, в частности, из-за новообразованной биомассы трав. Высокая летняя температура усиливает горимость леса, и возгорание сдерживается только из-за выпадения атмосферных осадков.

При пожароопасных метеорологических условиях пожар может возникнуть как по естественной причине, например, из-за разряда молнии, так и по антропогенной — из-за неосторожного обращения с огнем. Возникший

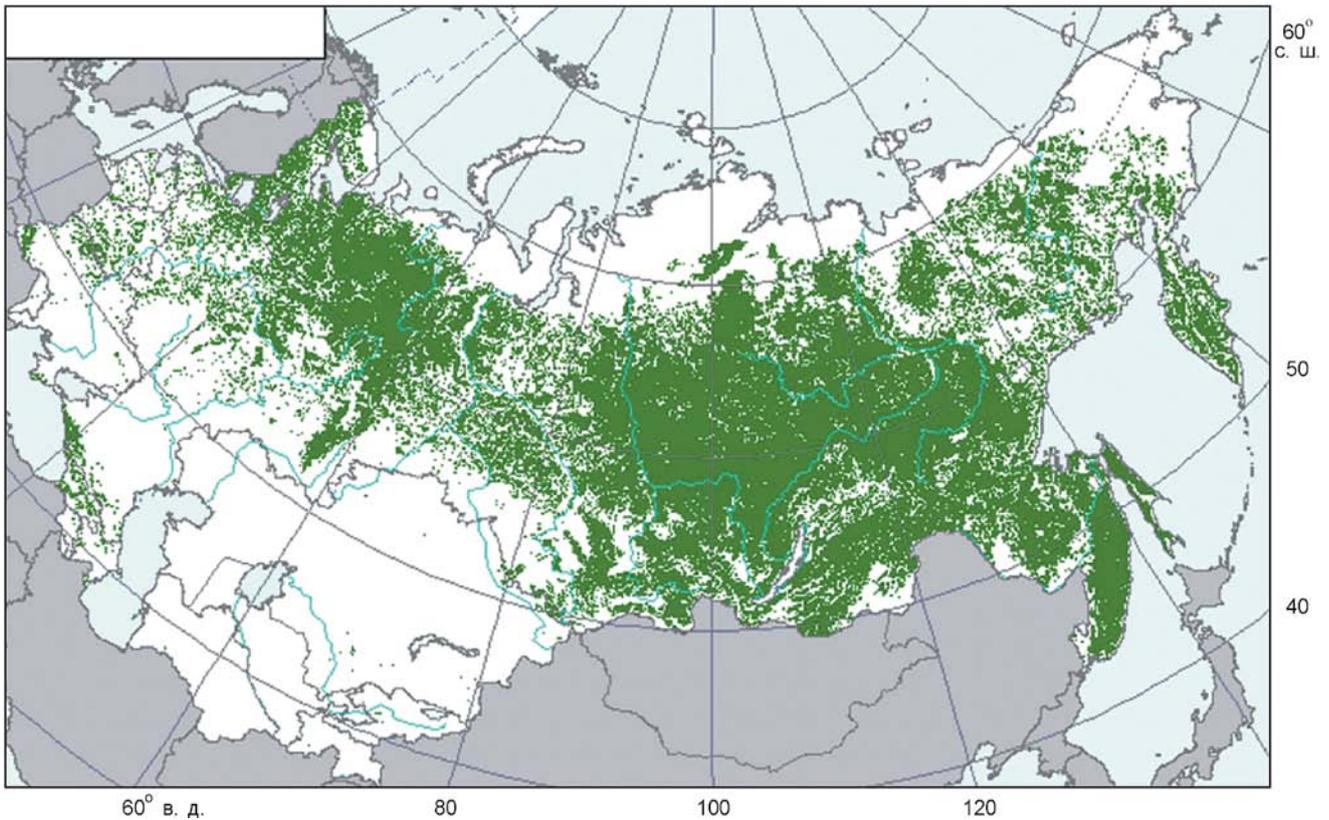


Рис. 7.1. Лесопокрытая часть территории стран СНГ и Балтии (www.forest.ru).

пожар распространяется тем быстрее, чем меньше относительная влажность воздуха и больше скорость ветра.

Средние многолетние данные о фактической горимости лесов в разных регионах показывают существенную пространственную неоднородность числа лесных пожаров и, следовательно, характеризуют региональные различия потенциальной опасности возгорания леса.

Лесная растительность достигает определенной сухости в теплую половину года при длительных антициклональных условиях погоды. А региональные различия погодно-климатических условий, включая грозовую активность, определяют многолетние региональные различия в потенциальной опасности лесных пожаров, вызванных молниями. Основными региональными факторами возгорания леса при этом являются комплекс метеорологических

условий, среднегодовое число дней с грозой, средняя многолетняя продолжительность гроз.

Количественные характеристики этих факторов используются для получения оценок региональных особенностей потенциальной опасности лесных пожаров. В районах с редкой сетью метеорологических наблюдений привлекаются сведения о дополнительных факторах, например, об аномалиях геомагнитного поля, влияющих на пространственно-временное распределение грозовых явлений.

Г. Н. Коровин и А. С. Исаев (Коровин, Исаев, 1998) считают, что в заселенных равнинных районах России до 98% возгораний возникает по вине человека, а в удаленных северных районах в 50% случаев виноваты грозы.

Размер пожара характеризуется величиной пройденной огнем площади. Пожары бывают разных размеров, выгорание леса происходит

неравномерно. При малых пожарах часть леса в некотором районе остается нетронутой огнем. При больших пожарах происходит практически полное выгорание. Около 5% лесных пожаров перерастает в угрожающе крупные, при которых выгорает до 92% лесных площадей, пройденных огнем.

На пожары, вызванные грозами, в среднем по России приходится 10% общего числа лесных пожаров. При этом, по данным В. А. Иванова с соавторами, для отдельных регионов (например, севера Красноярского края) доля пожаров от гроз может составлять 90% (Иванов и др., 2004).

По результатам анализа данных по Восточной Сибири за 2004—2005 гг. (Швецов, Сухинин, 2007), распределение пожаров и молний во времени в течение пожароопасного периода имеет значительные сезонные различия. Наибольшее число всех пожаров регистрируется в мае. После схода снежного покрова до появления новой сочной растительности сухая прошлогодняя лесная подстилка легко воспламеняется от любого источника огня. Пик грозовой активности приходится на июль, и максимальное число пожаров, вызванных грозами, регистрируется в летние месяцы. В 2004 г. наибольшее число пожаров от гроз наблюдалось в июне и июле, в 2005 г. — в июле и августе. Проявляется значительная зависимость интенсивности грозовой деятельности и пожарной активности от широты. Наблюдается уменьшение числа пожаров с юга на север. На интервал широт 49—55° с. приходится 50 и 65% общего числа зарегистрированных пожаров в 2004 и 2005 гг. соответственно, в то время как в интервале 70—75° с. было всего 0,26% числа всех зарегистрированных пожаров в 2005 г. В 2004 г. пожары там не были зафиксированы (Швецов, Сухинин, 2007). В интервале 75—78° с. ш. пожары совсем не наблюдались.

Число молний также уменьшается в направлении с юга на север. В широтных поясах 49—55 и 55—60° с. в 2004 и 2005 гг. наблюдалось равное число молний — примерно по 40%

всех молний в интервале широт 49—78° с. При этом максимальное число пожаров, причиной которых могла стать гроза в интервале широт 49—78° с., приходится на 55—60° с. ш.

Доля пожаров, вызванных молниями, в общем числе пожаров увеличивается с географической широтой, т.е. в северных широтах, где плотность населения меньше, роль антропогенного фактора в возникновении пожаров уменьшается, а роль естественного фактора в относительном выражении увеличивается. Наибольшая доля пожаров, вызванных молниями, в общем числе пожаров приходится на интервал широт 60—65° с., она составляет около 39%. На более высоких широтах она уменьшается вместе со значительным ослаблением грозовой активности. На широтах 65—70° с. доля пожаров, вызванных молниями, по отношению к общему числу пожаров составляет около 21% (Швецов, Сухинин, 2007).

Вероятность пожара и его интенсивность, кроме прочего, зависят от ороеграфии территории. Характеристики рельефа (ориентация и крутизна склонов) имеют важное значение в возникновении и интенсивности лесных пожаров. Экспозиция и крутизна склонов значительно влияют на уровень увлажнения лесной подстилки. Наветренные склоны получают большее количество осадков, но вода, не задерживаясь на склонах, накапливается в низинах, лишь там существенно увлажняя подстилку. От ориентации и крутизны склонов зависит скорость высыхания лесных горючих материалов (Panyushkina et al., 2003).

ПОКАЗАТЕЛИ (ИНДЕКСЫ) ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ВОЗГОРАНИЯ ЛЕСА ПО УСЛОВИЯМ ПОГОДЫ

Для оценки степени пожароопасности леса в зависимости от метеорологических условий используется индекс горимости леса, который является комплексным показателем пожарной опасности в лесу.

В России для оценки горимости леса применяют индекс Нестерова (ГОСТ Р 22.1.09-99, 2000), а за рубежом для тех же целей используют индекс засушливости KBDI (Keetch—Byram Drought Index), предложенный в работе (Keetch, Byram, 1968). В некоторых публикациях при оценке горимости леса предлагали учитывать влажность напочвенного покрова или лесной подстилки (Вонский, Жданко, 1967; Жданко, Гриценко, 1980).

Вычисление комплексного показателя пожарной опасности в лесу по условиям погоды — индекса Нестерова

Для вычисления комплексного показателя G пожарной опасности в лесу по условиям погоды необходимы следующие данные:

— температура воздуха и точки росы ($^{\circ}\text{C}$) на 12 ч по местному времени;

— количество выпавших осадков (мм) за предшествующие сутки, т. е. за период с 12 ч предыдущего дня по местному времени (осадки до 2,5 мм в сутки в расчет не принимаются).

Температура воздуха определяется по сухому термометру психрометра, температура точки росы — по психрометрическим таблицам на основании отсчетов по сухому и смоченному термометрам. Количество выпавших осадков определяется по осадкомеру. Температура воздуха и точки росы измеряется с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$, количество осадков — с точностью до 0,5 мм.

Комплексный показатель для текущего дня рассчитывают по формуле В. Г. Нестерова (ГОСТ Р 22.1.09-99, 2000; Методические указания..., 1975) следующим образом:

$$G = \sum_{i=1}^n T_i d_i, \quad (7.1)$$

$$d_i = T_i - r_i. \quad (7.2)$$

Здесь T — температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на 12 ч дня по местному времени; r — точка росы на 12 ч дня по местному времени ($^{\circ}\text{C}$); d — дефи-

цит точки росы; n — число дней после последнего дождя. Размерность G есть $(^{\circ}\text{C})^2 \cdot \text{сут}$.

Суммирование производится по последовательным дням без осадков (осадки менее 2,5 мм за сутки не учитываются) теплой половины года по суткам с положительной температурой. Суммирование начинается в первый сухой день после дождя и производится по n дням до выпадения осадков 2,5 мм за сутки или более.

С каждым днем без дождя значение G увеличивается. Если выпадут осадки более 2,5 мм за сутки, то накопленная сумма обнуляется (становится равной нулю) и со следующего дня без дождя начинается новое накопление суммы произведения Td .

В Методических указаниях 1975 г. (Методические указания..., 1975) в формуле Нестерова предлагается суммирование проводить за каждый сухой день до тех пор, пока не выпадут осадки за сутки более 3 мм. С учетом местных особенностей в некоторых регионах при расчетах по формуле Нестерова критическими осадками продолжают считать 3 мм.

Модифицированный индекс Нестерова

Несмотря на широкое использование индекса Нестерова для оценки потенциальной опасности возгорания леса, не прекращаются попытки усовершенствовать комплексный показатель опасности возгорания. Недостатком описанного выше классического индекса Нестерова является его резкое падение до нуля в сутки с суммой жидких осадков 2,5 или 3 мм (по разным источникам) и более независимо от имевшей место до дождя сухости погоды и наличия горючих материалов в лесу. Эти попытки предпринимаются давно.

В работе (Жданко, 1965) предлагалось при вычислении модифицированного индекса Нестерова g не проводить обнуление после каждого дня с суммарными осадками больше 2,5 или 3 мм, а гибко учитывать осадки с помо-

Таблица 7.1. Коэффициент $K(R)$ для расчета модифицированного индекса Нестерова

Осадки R , мм	0	0,1—0,9	1—2	3—5	6—14	15—19	20 и более
$K(R)$	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0

стью безразмерного понижающего коэффициента K , зависящего от суммы осадков R_i в текущий день i :

$$g_i = K(R_i)g_{i-1} + Td_i. \quad (7.3)$$

При этом значение коэффициента $K(R)$ задается в зависимости от суточной суммы осадков (табл. 7.1). Размерность g есть $(^\circ\text{C})^2 \cdot \text{сут}$.

Вычисление индекса g проводится в теплую половину года по суткам с положительной температурой.

Классы пожарной опасности

В зависимости от значения индекса Нестерова опасность возгорания оценивается по пяти классам общероссийской шкалы (табл. 7.2).

Для отдельных регионов разработаны региональные шкалы пожарной опасности в

лесу по условиям погоды, учитывающие местные особенности, и в которых значения комплексного показателя по классам отличаются от значений общероссийской шкалы.

Коэффициенты для учета рельефа

Особенности пожаров в горных лесах учитываются введением поправок, приведенных в табл. 7.3 (Защита населенных пунктов..., 2002).

В зависимости от крутизны и экспозиции склона пожарное созревание леса (способность к возгоранию) может произойти позже или раньше. В табл. 7.3 созревание “позже на один класс” означает, что в рассматриваемой горной местности при расчетах потенциальной опасности возгорания леса при полученном комплексном (метеорологическом) показателе

Таблица 7.2. Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды (по (ГОСТ Р 22.1.09-99, 2000))

Класс пожарной опасности по условиям погоды	Диапазон значений индекса горимости, $(^\circ\text{C})^2 \cdot \text{сут}$	Пожарная опасность
I	0—300	Отсутствует
II	301—1000	Малая
III	1001—4000	Средняя
IV	4001—10 000	Высокая
V	> 10 000	Чрезвычайная

Таблица 7.3. Поправки на крутизну и экспозицию склона по сравнению с горизонтальными участками для районов 50—60° с. ш. (по (Софронов, 1967))

Параметр	Периоды времени в календарном году			
	До 30 апреля и после 1 сентября			С 1 мая по 31 августа
Экспозиция	С и СВ		З и ЮЗ	С и СВ
Крутизна	20—30°	Более 30°	Более 25°	Более 30°
Пожарное созревание	Позже на один класс горимости	Позже на два класса горимости	Раньше на один класс горимости	Позже на один класс горимости

опасности возгорания необходимо понизить на единицу класс горимости леса по сравнению с таким же показателем для леса на горизонтальной поверхности. “Раньше на один класс” в таблице означает, что класс горимости леса необходимо повысить на единицу.

После того, как возгорание леса произошло, проводятся прогнозы распространения пожара. В оперативной работе для прогноза скорости распространения кромки пожара (V_x , м/мин) используется модель М. А. Софронова (1967), в которой учитываются скорость ветра, угол уклона местности и относительная влажность воздуха:

$$V_x = V_0 K_j K_h K_w \quad (7.4)$$

Здесь V_0 — базовая (штилевая) скорость движения переднего фронта пожара; K_j — коэффициент влияния уклона (определяется в соответствии с уклоном, экспозицией склона

и направлением распространения горения: вверх по склону — углы положительные, вниз по склону — отрицательные, вдоль склона — нулевые); K_h — коэффициент влияния относительной влажности воздуха (определяется в соответствии с величиной прогнозируемой относительной влажности воздуха h , %); K_w — коэффициент влияния скорости ветра (определяется в соответствии со скоростью и направлением ветра по отношению к кромке пожара: фронт, фланг, тыл). Численные значения коэффициентов приведены в табл. 7.4—7.6.

Скорость распространения лесного пожара влияет на площадь выгорания леса.

Индекс засушливости *KBDI*

За рубежом индекс Нестерова практически не используется. Во многих странах для оценки потенциальной опасности возгорания леса

Таблица 7.4. Коэффициенты K_w относительного влияния скорости ветра на скорость распространения горения при низовых пожарах

w , м/с	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	5,0
K_w	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,6	3,2	4,0	5,0	6,0	7,0	10,0
K'_w	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8
K''_w	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,5

Примечание. w — ветер на высоте 2 м. Значения коэффициентов: K_w — для фронта; K'_w — для тыла и фланга; K''_w — для фланга при интенсивном горении (Конев, 1984).

Таблица 7.5. Коэффициенты K_j относительного влияния уклона j на скорость распространения горения при низовых пожарах

j , град	-40	-30	-20	-10	0	10	15	20	25	30	35	40
K_j	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	4,0	6,0	12,0

Таблица 7.6. Коэффициенты K_h относительного влияния относительной влажности воздуха на скорость распространения горения при низовых пожарах

h , %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
K_h	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3

применяют индекс засушливости, который предложили Китч и Байрам (Keetch, Вугам, 1968).

На основе моделирования авторами этого индекса составлено пять таблиц факторов засухи (табл. 7.7—7.11). Каждая из них служит для определенного диапазона климатического значения годовой суммы осадков в дюймах. Для вычисления значения индекса KBDI для данных суток необходимо знать годовую сумму осадков в данной местности (характеристика климата), максимальную температуру воздуха в течение предыдущих суток и сумму осадков за те же сутки.

Вычисление индекса KBDI нельзя описать формулой. Его вычисление — это последовательность простых действий с применением табличных данных, зависящих от метеорологических условий. В русскоязычной литературе нет подробного описания методики расчета индекса KBDI, поэтому она приводится ниже.

До начала расчетов оценивается климатическое значение суммы осадков для данной местности (в дюймах). В зависимости от этого значения при расчетах будет применяться одна из пяти таблиц. Каждая из них задает значение фактора засушливости Z в зависимости от максимальной температуры за текущие сутки (в градусах Фаренгейта), от значения индекса засушливости за предыдущие сутки.

Напомним формулы для перехода от миллиметров к дюймам и от градусов Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) к градусам Фаренгейта (F): [дюйм] = [мм]/(10/2,54); [градус Фаренгейта, F] = $32 + 9/5 [^{\circ}\text{C}]$.

В некоторый начальный, нулевой год определяется дата перехода температуры через нуль (от отрицательной к положительной). Индексу KBDI в этот день присваивается значение 0. Далее вычисления производятся для каждого последующих суток этого и следующих годов “без перерыва на зиму”. Таким образом, при особо сухих условиях потенциальная опасность возгорания леса может сохраняться и в холодное время года, даже при отрицательной температуре.

Итак, для каждого суток i после начальных, исходя из данных о максимальной суточной температуре воздуха в данные сутки и значения индекса KBDI в предшествующий день (для суток $(i - 1)$), по выбранной таблице из представленных табл. 7.7—7.11 определяется значение фактора засушливости Z_i . Значение индекса KBDI для текущих суток вычисляется следующим образом:

$$\text{KBDI}_i = \text{KBDI}_{i-1} + Z_i - e_i, \quad (7.5)$$

где e — поправка. Правило ее вычисления следующее (суммы осадков P приводятся здесь в дюймах).

1. При $P_i = 0$, т. е. при отсутствии дождя в течение суток, $e_i = 0$.

2. При сильных осадках ($P_i > 0,2$) в течение суток $e_i = P_i - 0,2$.

3. При малых осадках в течение суток ($0 < P_i \leq 0,2$):

3.1) при сухих ($P_{i-1} = 0$) предыдущих сутках $e_i = 0$;

3.2) при выпадении слабых осадков (от 0 до 0,2) в несколько предыдущих суток, составляющих в сумме $> 0,2$, e_i есть эта сумма осадков за максимально возможное число таких предшествующих суток, уменьшенная на 0,2;

3.3) при выпадении сильных осадков ($P_{i-1} > 0,2$) в предыдущие сутки $e_i = P_i$.

Показатель потенциальной горимости леса для климатических исследований

Описанные выше индексы горимости были разработаны для оценки потенциальной опасности возгорания леса на текущий момент. Особенность этих индексов такова, что их среднесезонные значения не очень информативны, поскольку плотность распределения их значений имеет сильную асимметрию — большие (критические) значения индексов встречаются редко. По текущим значениям индексов определяются классы опасности возгорания леса на данный момент, но к усредненным значениям индекса такой подход

Таблица 7.7. Фактор засушливости для регионов с годовой суммой осадков от 10 до 19 дюймов

Максимальная суточная температура, F	Индекс засушливости в предшествующий день															
	0—49	50— 99	100— 149	150— 199	200— 249	250— 299	300— 349	350— 399	400— 449	450— 499	500— 549	550— 639	640— 699	700— 759	760— 799	≥ 800
≥ 107	21	19	18	11	15	14	13	11	10	9	7	5	3	2	1	0
104—106	18	17	15	14	13	12	11	10	8	7	6	5	3	2	1	0
101—103	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	2	1	1	0
98—100	13	12	11	11	11	9	8	7	6	5	5	3	2	1	1	0
95—97	11	10	10	9	8	8	7	6	5	5	4	3	2	1	1	0
92—94	9	9	8	8	7	6	6	5	5	4	3	3	2	1	0	0
89—91	8	8	7	7	6	5	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0
86—88	7	6	6	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0
83—85	6	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0
80—82	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0
77—79	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	0	0
74—76	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0
71—73	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0
68—70	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
65—67	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
62—64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
59—61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
56—58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
53—55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
50—52	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
< 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7.8. Фактор засушливости для регионов с годовой суммой осадков от 20 до 29 дюймов

Максимальная суточная температура, F	Индекс засушливости в предшествующий день															
	0—49	50— 99	100— 149	150— 199	200— 249	250— 299	300— 349	350— 399	400— 449	450— 499	500— 549	550— 639	640— 699	700— 759	760— 799	≥ 800
≥ 107	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	11	9	5	3	1	0
104—106	25	24	22	20	19	17	16	14	12	11	9	7	4	2	1	0
101—103	22	20	19	18	16	15	13	12	11	9	8	6	3	2	1	0
98—100	19	17	16	15	14	13	11	10	9	8	7	5	3	2	1	0
95—97	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	4	3	1	1	0
92—94	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	4	2	1	1	0
89—91	12	11	10	9	9	8	7	6	6	5	4	3	2	1	1	0
86—88	10	9	9	9	7	7	6	5	5	4	4	3	2	1	1	0
83—85	9	8	7	7	6	6	5	5	4	4	3	2	1	1	0	0
80—82	7	7	6	6	5	5	4	4	3	3	3	2	1	1	0	0
77—79	6	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0
74—76	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0
71—73	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0
68—70	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0
65—67	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0
62—64	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
59—61	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
56—58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
53—55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
50—52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7.9. Фактор засушливости для регионов с годовой суммой осадков от 30 до 39 дюймов

Максимальная суточная температура, F	Индекс засушливости в предшествующий день															
	0—49	50— 99	100— 149	150— 199	200— 249	250— 299	300— 349	350— 399	400— 449	450— 499	500— 549	550— 639	640— 699	700— 759	760— 799	≥ 800
≥ 107	41	38	36	33	30	28	25	23	20	17	15	11	6	4	1	0
104—106	35	33	31	28	26	24	22	19	17	15	13	9	5	3	1	0
101—103	30	28	26	24	22	20	19	17	15	13	11	8	5	3	1	0
98—100	26	24	23	21	19	18	16	14	13	11	9	7	4	2	1	0
95—97	22	21	19	18	16	15	14	12	11	9	8	6	3	2	1	0
92—94	19	18	16	15	14	13	12	10	9	8	7	5	3	2	1	0
89—91	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	4	3	1	1	0
86—88	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	4	2	1	1	0
83—85	11	11	10	9	9	8	7	6	6	5	4	3	2	1	1	0
80—82	10	9	8	8	7	7	6	5	5	4	3	3	2	1	0	0
77—79	8	8	7	7	6	6	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0
74—76	7	6	6	5	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0
71—73	6	5	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	0	0
68—70	5	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0
65—67	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0
62—64	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0
59—61	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
56—58	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
53—55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
50—52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7.10. Фактор засушливости для регионов с годовой суммой осадков от 40 до 59 дюймов

Максимальная суточная температура, F	Индекс засушливости в предшествующий день															
	0—49	50— 99	100— 149	150— 199	200— 249	250— 299	300— 349	350— 399	400— 449	450— 499	500— 549	550— 639	640— 699	700— 759	760— 799	≥ 800
≥ 107	62	58	54	50	46	42	38	34	30	26	22	16	10	6	2	0
104—106	53	50	46	43	39	36	33	29	26	22	19	14	8	5	1	0
101—103	46	43	40	37	34	31	28	25	22	19	16	12	7	4	1	0
98—100	39	37	34	31	29	26	24	21	19	16	14	10	6	4	1	0
95—97	33	31	29	27	25	23	20	18	16	14	12	9	5	3	1	0
92—94	28	27	25	23	21	19	17	16	14	12	10	9	4	3	1	0
89—91	24	23	21	20	18	16	15	13	12	10	9	6	4	2	1	0
86—88	21	19	18	17	15	14	13	11	10	9	7	5	3	2	1	0
83—85	17	16	15	14	13	12	11	10	9	7	6	5	3	2	1	0
80—82	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	2	1	1	0
77—79	12	11	11	10	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1	1	0
74—76	10	10	9	8	8	7	6	6	5	4	4	3	2	1	1	0
71—73	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	3	2	1	1	0	0
68—70	7	6	6	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0
65—67	6	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	0	0
62—64	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0
59—61	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0
56—58	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0
53—55	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
50—52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7.11. Фактор засушливости для регионов с годовой суммой осадков от 60 и более дюймов

Максимальная суточная температура, F	Индекс засушливости в предшествующий день															
	0—49	50— 99	100— 149	150— 199	200— 249	250— 299	300— 349	350— 399	400— 449	450— 499	500— 549	550— 639	640— 699	700— 759	760— 799	≥ 800
≥ 107	91	85	79	73	68	62	56	50	44	38	32	24	14	8	2	0
104—106	78	73	68	63	58	53	48	43	38	33	28	21	12	7	2	0
101—103	67	63	58	54	50	45	41	37	32	28	24	18	10	6	2	0
98—100	57	54	50	46	43	39	35	31	28	24	20	15	9	5	2	0
95—97	49	46	43	40	36	33	30	27	24	21	17	13	8	4	1	0
92—94	42	39	36	34	31	28	26	23	20	18	15	11	7	4	1	0
89—91	36	33	31	29	26	24	22	19	17	15	13	9	6	3	1	0
86—88	30	28	26	24	22	20	18	17	15	13	11	8	5	3	1	0
83—85	25	24	22	21	19	17	16	14	12	11	9	7	4	2	1	0
80—82	21	20	19	17	16	15	13	12	10	9	8	6	3	2	1	0
77—79	18	17	16	14	13	12	11	10	9	8	6	5	3	2	1	0
74—76	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	2	1	1	0
71—73	12	12	11	10	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1	1	0
68—70	10	9	9	8	7	7	6	6	5	4	4	3	2	1	1	0
65—67	8	8	7	7	6	6	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0
62—64	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0
59—61	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0
56—58	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0
53—55	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0
50—52	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

неприменим. Поэтому для климатических исследований целесообразно использовать следующие два показателя:

— число дней за год (или за сезон, или за месяц) с индексом больше критического значения в соответствии с классами опасности или в соответствии с другими обоснованными критическими значениями;

— максимальное значение индекса за год (или за сезон, или за месяц).

Если в качестве критического значения для индекса Нестерова принять 1000 (III класс пожарной опасности по условиям погоды), то подсчет числа дней за год с индексом больше такого критического значения покажет общее число дней со средней и выше опасностью пожаров. А если использовать критическое значение 4000 (IV класс пожарной опасности), то получим число дней с высокой и чрезвычайной опасностью пожаров в лесу и т. д.

ГЛОБАЛЬНАЯ РОЛЬ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ: ПРЯМОЙ УЩЕРБ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭМИССИИ В АТМОСФЕРУ

Лесной пожар сопряжен с большой опасностью, так как он уничтожает большие материальные ценности, в нем гибнут животные и растения, а также в зависимости от зоны горения огонь может распространяться на населенные пункты, промышленные предприятия и выводить из строя линии электропередачи (ЛЭП). Помимо этого, лесной пожар задымляет большие пространства, изменяя состав атмосферного воздуха. Крупные лесные пожары не только сопровождаются пиковыми эмиссиями CO_2 в атмосферу, но и уменьшают стоки атмосферного CO_2 . И первое, и второе приводит к увеличению его содержания в атмосфере и, соответственно, к усилению парникового эффекта. Такие пожары часто возникали на территории России. Так, в 1915 г. в Западной Сибири лесные пожары охватили площадь около

14 млн. га. Крупные лесные пожары были в 1972, 1984 и 2002 гг. (Кондратьев и др., 2005).

По данным работы (Задонина и др., 2004), ежегодно в мире регистрируется около 200 тыс. пожаров, в которых выгорает 40 млн. га леса, что составляет 0,1% всех лесных запасов планеты. По данным работы (Потапова, 2003), в мире ежегодно 400 тыс. пожаров уничтожают 0,5% лесов. Оценки сильно различаются, так как получены с использованием разных методик.

Столь же противоречивы данные о пожарах и для территории России. По данным работы (Потапова, 2003), в России в последнее время ежегодно возникает около 30 тыс. лесных пожаров и выгорает по 1—2 млн. га лесов — 0,2% лесного фонда. Однако Г. Н. Коровин и А. С. Исаев (Коровин, Исаев, 1998) оценили площадь ежегодных лесных пожаров в 5—6 млн. га. В более поздней работе (Коровин, Зукерт, 2003) отмечается, что на активно охраняемой территории лесного фонда ежегодно возникают от 12 до 36 тыс. лесных пожаров, охватывающих площадь от 0,5 до 5,2 млн. га. Активно охраняемой территорией называют территорию лесного фонда, где регулярно проводится предупреждение, обнаружение и тушение лесных пожаров специально предназначенными силами и средствами (ГОСТ Р 22.1.09-99, 2000).

Судя по работе (Потапова, 2003), площадь выгоревших лесов на территории лесного фонда России ежегодно в пять раз превышает площадь вырубки лесов, а размеры ежегодного ущерба от лесных пожаров соизмеримы с доходом от лесного хозяйства, а в отдельные годы — значительно превышают его. Однако данные статистического справочника по лесным пожарам отличаются от этих оценок (Думнов и др., 2005), но значения часто сопоставимы.

В работе (Sukhinin et al., 2004) отмечается, что в 1997—2002 гг. в среднем от пожаров страдало $7,7 \cdot 10^6$ га/год. При этом отмечается значительная межгодовая изменчивость

площади территории, пройденной огнем, — от $1,5 \cdot 10^6$ до $12,1 \cdot 10^6$ га/год (Sukhinin et al., 2004).

Причина расхождений в фактических данных о лесных пожарах, полученных из разных источников, заключается в различиях методов получения фактических данных о лесных пожарах. По сведениям Министерства природных ресурсов, на основе визуальных наблюдений площадь лесных земель, пройденная огнем, в 2004 г. составила 442 тыс. га. По сведениям Всемирного центра мониторинга пожаров (расположен в г. Фрейбург, Германия), на основе данных спутниковых наблюдений площадь пожаров на природных территориях России в 2004 г. составила 5 млн. 934 тыс. га, что в 13,5 раз больше (<http://www.fire.unifreiburg.de/current/globalfire.htm>). Противоречие не случайно, по мнению авторов работы (Коровин, Исаев, 1998), реальные масштабы горимости лесов России и размеры наносимого огнем ущерба до настоящего времени не установлены с достаточной определенностью.

Занижение оценок Министерством природных ресурсов частично связано с тем, что многие огромные необжитые районы России остаются без фактических наблюдений, а спутниковые данные дают информацию по всей территории страны. С другой стороны, спутниковые данные о пожарах могут оказаться завышенными, поскольку не являются абсолютно точными и имеют тенденцию к завышению — по наблюдениям со спутников малые пожары иногда принимают за большие.

Сезонные периоды лесных пожаров сильно перекрываются периодами засух. В последние десятилетия эти два природных феномена возникают все чаще в разных регионах Земли, многие из которых не принадлежат к зонам с засушливым климатом. Так, например, 2002 г. стал годом сильнейшей засухи на востоке США, которая с апреля по июнь охватила около 40% территории США. В это же время в канадской провинции Квебек было зарегистрировано 45 лесных пожаров. В 2002 г. засухой

были охвачены центральные регионы России, что вызвало на ее европейской части многочисленные пожары, дым от которых ощущался в более чем 100 населенных пунктах, в том числе и в Москве (Кондратьев и др., 2005).

Лесные пожары являются не только бедствием для местного населения, но и создают дополнительный источник эмиссии в атмосферу парниковых газов и аэрозолей. Около 30% содержания тропосферного озона, оксида углерода и диоксида углерода в атмосфере обусловлено вкладом лесных пожаров. Связанные с лесными пожарами выбросы аэрозолей в атмосферу могут оказывать существенное влияние на микрофизические и оптические характеристики облачного покрова и, следовательно, на климат (Кондратьев, Григорьев, 2004). Обусловленное лесными пожарами таяние многолетнемерзлых пород приводит к существенным изменениям режима температуры и влажности почвы и, соответственно, к изменению почвенного запаса (в англоязычной терминологии — резервуара) углерода в экосистемах бореальных лесов (Кондратьев, Григорьев, 2004). Некоторые данные указывают на то, что причиной потепления климата в Северной Америке могли быть природные лесные пожары (там же).

Существует, конечно, и обратная зависимость лесных пожаров от климатических условий. Оценки показали, что глобальное потепление, которое может произойти при удвоении концентрации CO_2 , способно привести к увеличению площади выгоревших бореальных лесов на 40%. В свою очередь, изменение режима пожаров в бореальных лесах влияет на формирование глобального круговорота углерода, изменяя пространственную структуру и режим функционирования бореальных экосистем (Кондратьев, Григорьев, 2004).

При общей площади земель лесного фонда России 1183 млн. га запас углерода в фитомассе (живых частях растений) оценен в 41,2 Гт, из которых 96% приходится на покрытую лесом площадь. Годичное депонирование угле-

рода составляет для той же площади 212 млн. т в год, в том числе 10% приходится на непокрытую лесом и нелесную площадь (Исаев и др., 1993).

В работе (Kasischke, Bruhwiler, 2002) специальное внимание обращено на косвенное воздействие лесных пожаров на почвенное дыхание в высоких широтах, где существуют богатые углеродом почвы в зоне многолетней мерзлоты. Обусловленное пожарами оттаивание почвы должно усилить процессы дыхания и тем самым способствовать интенсификации выбросов CO_2 в атмосферу в течение до 10 лет после пожара. Лесные пожары выжигают подстилку, которая в зоне многолетней мерзлоты является теплоизолятором, влияющим на глубину сезонного протаивания почвогрунтов. После пожара подстилка медленно восстанавливается в течение многих лет.

В работе (Харук и др., 2005) показано, что в процессе увеличения давности гари происходит уменьшение средней глубины протаивания. Это обусловлено восстановлением лесной подстилки, т. е. увеличением толщины теплоизолятора — мохово-лишайникового покрова. Время восстановления высоты мохово-лишайникового покрова до допожарного уровня составляет 30—50 лет (Safronov et al., 1999).

Мохово-лишайниковый покров при высыхании превращается в горючий материал, создающий в засушливые годы условия для возникновения устойчивых пожаров на обширных территориях. Увеличение послепожарной глубины протаивания почвогрунтов способствует ускоренному росту выживших после пожара деревьев. Длительность этого периода составляет 10—30 лет. Последующее уменьшение глубины протаивания ограничивает развитие корневой системы деревьев и ведет к угнетению деревьев. Особенно сильно страдает лиственница. Вследствие увеличения числа пожаров происходит трансформация северных лиственничных лесов из стока углерода в источник парниковых газов (Харук и др., 2005). Увеличение частоты пожаров оказывает

влияние на видовое разнообразие северных ландшафтов. Накапливаются свидетельства экспансии вечнозеленых хвойных (ель, кедр, пихта) в зону доминирования лиственницы. Лиственница, в свою очередь, продвигается в зону тундры (Харук и др., 2004).

Леса и болота обеспечивают длительную консервацию углерода и существенно влияют на глобальный цикл углерода. Лесные пожары могут значительно сдвигать углеродный баланс в пользу поступления CO_2 в атмосферу.

МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В РОССИИ

Наземный мониторинг

В Российской Федерации в пожароопасный период года ведутся постоянный мониторинг и прогноз лесных пожаров. Для этого существует ГОСТ Р 22.1.09-99 (1999), разработанный специалистами Федеральной службы лесного хозяйства России, ВНИИлесхоза с участием рабочей группы специалистов Технического комитета по стандартизации “Гражданская оборона, предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций” и Агентства по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций МЧС России. ГОСТ введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 мая 1999 г. № 181.

Мониторинг лесных пожаров — это система наблюдений за пожарной опасностью в лесу и контроля ситуации. При этом наблюдения ведутся за условиями погоды, состоянием лесных горючих материалов, источниками огня и возникшими лесными пожарами с целью своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению лесных пожаров и уменьшению ущерба от них.

Организацию работ по мониторингу и прогнозированию лесных пожаров в стране осуществляет федеральный орган управления лесным хозяйством России, а на региональном уровне эту работу проводят государственные

органы управления лесным хозяйством субъектов Российской Федерации. Ведение мониторинга и прогнозирования лесных пожаров, организацию работ по контролю за лесопожарной ситуацией (места лесных пожаров и площади, пройденные лесными пожарами) и учет последствий лесных пожаров проводят лесхозы и другие организации, осуществляющие ведение лесного хозяйства, а также подразделения “Авиалесоохрана”, которые занимаются обнаружением и тушением лесных пожаров.

В среднем с помощью авиации обнаруживается 45,2% пожаров. С применением авиационных сил и средств ликвидируется 37,5% числа возникших пожаров (<http://www.aviales.ru/default.aspx?textpage=34>).

С 2005 г. действует Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Рослесхоза (“ИСДМ Рослесхоз”). Система “ИСДМ Рослесхоз” работает в масштабе всей страны в режиме реального времени с использованием спутниковых данных, данных системы гронопеленгации и ГИС-технологий для формирования ежедневной отчетности. Конечная цель — принятие управленческих решений. Пользователями этой системы в настоящее время являются более 200 организаций лесного хозяйства, лесной промышленности, Росприроднадзора, МЧС и других министерств и ведомств.

В результате осуществления мониторинга формируется следующая информация, используемая для выявления лесных пожаров и прогнозирования их развития:

- оперативные данные о лесных пожарах и ходе их тушения от 83 субъектов Российской Федерации;

- данные о лесопожарной обстановке из “ИСДМ Рослесхоз” (общая площадь земель лесного фонда, где осуществляется этот вид мониторинга, составляет 1108 млн. га);

- результаты ежедневной обработки данных от субъектов Российской Федерации по выявленным “ИСДМ Рослесхоз” фактам горе-

ния (до 500 детектированных температурных аномалий в день);

- данные о координатах, полярности и силе молниевых разрядов и возможности возникновения в этих районах лесных пожаров;

- метеорологическая информация из Гидрометцентра России (8 показателей по 1200 метеостанциям ежедневно).

Мониторинг проводится на территории всего лесного фонда России, но при этом выделяют активно охраняемые леса и активно не охраняемые леса. Согласно ГОСТ Р 22.1.09-99, к активно охраняемым лесам относится территория лесного фонда, где регулярно проводятся предупреждение, обнаружение и тушение лесных пожаров специально предназначенными силами и средствами. Лесные территории, на которых такой работы не проводится, называют активно не охраняемыми лесами. Площадь активно охраняемых лесов в 2006 г. составляла 681,2 млн. га, из которых 215,5 млн. га отнесены к зоне космического мониторинга 1-го уровня (<http://www.aviales.ru/default.aspx?textpage=34>).

Начиная с 2007 г. полномочия по охране лесов в полном объеме переданы субъектам Российской Федерации. Базы авиационной охраны лесов — филиалы ФГУ “Авиалесоохрана” — ликвидированы. Вместо них в субъектах организованы государственные учреждения по авиационной охране лесов. В создавшихся условиях существенно изменились место и роль службы авиалесоохраны. Субъекты разрабатывают свои варианты функционирования авиалесоохраны (<http://www.aviales.ru/default.aspx?textpage=34>). В 2008 г. на базе Центрального диспетчерского пункта Центральной базы авиационной охраны лесов создан Центр мониторинга пожарной опасности (г. Пушкино). Сейчас основная функция центра — мониторинг пожарной опасности лесов на всей территории Российской Федерации. Кроме этого в задачи центра входят:

- сбор информации о мероприятиях, связанных с охраной лесов от пожаров;

— оперативный анализ обстановки с целью формирования предложений по перераспределению сил и средств пожаротушения;

— оценка эффективности принятия субъектами Российской Федерации мер по ликвидации лесных пожаров;

— контроль за соблюдением технологий и нормативов по профилактике и тушению лесных пожаров.

Ежедневно в центр стекается комплексная информация из всех доступных источников (<http://aviales.txl.ru/default.aspx?textpage=71>):

— оперативные отчеты органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области лесных отношений;

— текущая и прогностическая метеорологическая информация (поступает по спутниковым каналам связи от Росгидромета);

— в случаях чрезвычайной пожарной ситуации в центр поступает и фото (видео) информация непосредственно с борта воздушного судна или от групп пожаротушения.

Система позволяет решать следующие задачи (<http://aviales.txl.ru/default.aspx?textpage=71>):

— прогнозирование и мониторинг пожарной опасности в лесах;

— детектирование лесных пожаров и мониторинг их развития;

— оценка пройденной огнем площади и погибших насаждений;

— интеграция в одном ГИС-интерфейсе комплексной информации (картографической подложки, космических данных, оперативных и архивных данных из разных источников).

Служба лесоохраны собирает сведения о лесных пожарах по данным наземных обследований. Сравнение данных авианаблюдений и данных наземных обследований показывает их хорошее согласование. На рис. 7.2 приведена сравнительная диаграмма числа пожаров, полученная двумя методами оценки (Харук и др., 2005). Коэффициент корреляции составил 0,81. Однако преимуществом авианаблюдений являются более высокая оперативность обследований и больший пространственный охват.

Потенциальная опасность возгорания леса

Кроме мониторинга фактических лесных пожаров проводится постоянный мониторинг потенциальной опасности возгорания леса. Мониторинг опасности возникновения лес-

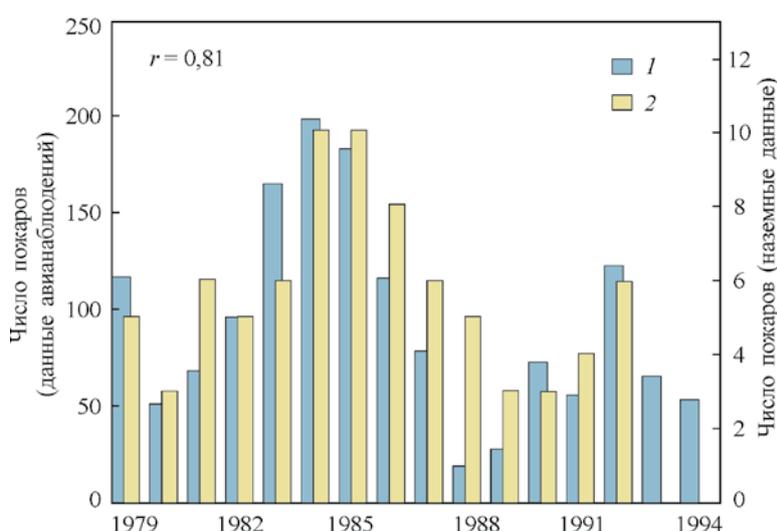


Рис. 7.2. Число пожаров в Эвенкии по данным авианаблюдений (1) и по наземным обследованиям (2).

ных пожаров проводится в региональных управлениях Росгидромета.

Пожароопасность условий погоды оценивают на основе данных метеорологических наблюдений. Согласно ГОСТ Р 22.1.09-99, степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды должна определяться по принятому в лесном хозяйстве комплексному показателю (индексу горимости) Нестерова. Этот показатель уже обсуждался выше.

Кроме погоды, на опасность лесных пожаров влияют местные особенности лесной территории. Эти условия зависят от типа участков лесного фонда (хвойные молодняки, захламленная вырубка, сосново-березовые насаждения на заторфованных почвах, средневозрастные насаждения сосны по горному склону, другие типы участков лесного фонда). При одной и той же погоде лесные участки различаются по местным условиям предрасположенности леса на них к возникновению пожаров и возможной их интенсивности. Относительная оценка степени пожарной опасности лесных участков оценивается по пятибалльной шкале и приводится на лесопожарных картах и картах-схемах противопожарных мероприятий (табл. 7.12). Таким образом, кроме пяти классов пожароопасных условий погоды существует еще пять классов пожароопасности лесных участков.

При прочих равных условиях лесной пожар возникает раньше в участках I класса пожарной опасности и в последнюю очередь в участках V класса пожарной опасности.

Неудачной следует признать нумерацию классов пожарной опасности в ГОСТе. В зависимости от погоды увеличению пожарной опасности соответствует повышение класса, а по местным условиям увеличению класса пожарной опасности участка соответствует уменьшение номера класса пожарной опасности.

Космический мониторинг

Начиная с середины 1990-х годов в России активно развивались методы и технологии использования спутниковых данных для мониторинга лесных пожаров. Система спутникового мониторинга пожаров службы авиационной охраны лесов России является одним из блоков Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ. Это позволяет использовать спутниковые данные наряду с другими видами информации (данные наземных и авиационных наблюдений, данные грозопеленгации, метеоданные) при принятии оптимальных решений при организации работ по обнаружению и тушению лесных пожаров (Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров, 2004).

Основными задачами, для решения которых используются спутниковые данные при организации мониторинга лесных пожаров, являются получение информации для оценки метеобстановки; регистрация зон с подозрениями на лесные пожары на охраняемых территориях; обнаружение пожаров и контроль

Таблица 7.12. Классы пожарной опасности лесных участков (по ГОСТ Р 22.1.09-99)

Класс пожарной опасности лесных участков	Степень пожарной опасности участков
I	Высокая
II	Выше средней
III	Средняя
IV	Ниже средней
V	Низкая

развития пожаров на неохраемых территориях; оценка последствий лесных пожаров.

В первые годы развития системы (1996—2001 гг.) использовались данные прибора AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer — радиометр очень высокого разрешения), установленного на спутниках серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA — Национальное управление по океанам и атмосфере, США) (Kidwell, 1988). Этот прибор имеет спектральный канал, необходимый для детектирования пожаров (3,7 мкм). Существующая группировка спутников NOAA позволяет получать данные по всей территории России. В последние годы стали использоваться данные прибора MODIS со спутников “Terra” и “Aqua”. Этот прибор также имеет спектральный канал, необходимый для детектирования пожаров. Прибор имеет видимые каналы более высокого пространственного разрешения (250 м), чем у прибора AVHRR, и может существенно расширить возможности анализа последствий пожаров.

Спутниковые данные лучше наземных наблюдений дают оценки пройденных огнем площадей и последствий лесных пожаров (Sukhinin et al., 2004). Благодаря развитию технологий построения информационных систем (ИС) доступа к спутниковым данным в последние годы увеличился спрос на данные о лесных пожарах со стороны разных ведомств (Сментин и др., 2005; Беляев и др., 2005). Фактические данные о лесных пожарах стали доступны через Интернет.

Архивы фактических данных о лесных пожарах

На официальном сайте Федерального государственного учреждения Центральная база авиационной охраны лесов “Авиалесоохрана” представлена оперативная информация о лесных пожарах, получаемая следующими организациями:

— Центральная база авиационной охраны лесов “Авиалесоохрана”, г. Москва, <http://www.pushkino.aviales.ru/>;

— ВНИИ ГОЧС (Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России), г. Москва, <http://www.ampe.ru/>;

— Лаборатория приема и обработки космической информации ВНИИ ГОЧС, г. Владивосток, <http://www.lgpsi.vlad.ru/>;

— Центр космического мониторинга ИСЗФ СО РАН (Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук), г. Иркутск, <http://ckm.iszf.irk.ru/>;

— БайкалИнформЦентр (Байкальский информационный центр), <http://www.geol.irk.ru/dzz/dzz.htm>;

— ИТЦ СканЭкс (Инженерно-технологический центр “СканЭкс”), <http://www.scanex.ru/rus/data/data.htm>.

На этих сайтах представляют данные о лесных пожарах, получаемые с помощью радиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer — спектрорадиометр со средним разрешением). Этот прибор установлен на борту американских спутников “Terra” (на орбите с 1999 г.) и “Aqua” (на орбите с 2002 г.), осуществляющих исследования Земли из космоса по программе EOS (Earth Observing System — Система наблюдения за Землей) Национального аэрокосмического агентства США (NASA). Радиометр MODIS позволяет проводить ежедневный оперативный мониторинг территорий. При этом периодичность наблюдения зависит от размеров территории и географического положения, а также от количества используемых спутников. Периодичность наблюдения отдельной территории (например, субъекта РФ) при съемке одним спутником составляет от 1—2 раз (для южных и центральных по широте районов России) до 2—3 раз (для северных районов России) в дневное время суток и столько же раз ночью. При съемке двумя спутниками частота наблюдений удвоится — от 4 до 12 раз в сутки (в

зависимости от географического положения рассматриваемой территории). Съемка всей территории России двумя спутниками может осуществляться 1—2 раза днем и столько же раз ночью. MODIS может зафиксировать пожар на площади менее 1 км².

Наиболее полные статистические сведения о лесных пожарах в России за прошлые годы опубликованы в справочнике (Думнов и др., 2005). Сводная информация для этого издания была взята из публикаций Росстата, МПР России, Рослесхоза, Госкомэкологии России и некоторых других организаций за период 1986—2004 гг. Справочник подготовлен на основе официальной информации. Он содержит сведения о числе лесных пожаров по субъектам Российской Федерации, о лесной площади, пройденной огнем, о потерях древесины на корню вследствие лесных пожаров и другие.

РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ ПОЖАРООПАСНОСТИ В ЛЕСАХ И ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

При высокой потенциальной опасности возгорания леса в связи с метеорологически-

ми условиями часто действительно возникают лесные пожары. Для исследования того, насколько возникновение пожаров тесно связано с их “метеорологической” опасностью, выполнено сопоставление числа суток за год со значением индекса горимости “выше критического” и данных о фактических пожарах, приведенных в статистическом справочнике (Думнов и др., 2005). Это сделано на примере Сибирского федерального округа (Шерстюков, Шерстюков, 2007).

На рис. 7.3 показаны многолетние изменения лесной площади, пройденной пожарами (Думнов и др., 2005), и числа дней в году со средней горимостью по индексу Нестерова (G), превышающей 1000.

Коэффициент корреляции между ними составил 0,53; достоверность отличия от нуля коэффициента корреляции оказалась больше 95%. Значимая положительная корреляция подтверждает применимость индекса Нестерова для большой территории.

Аналогичные расчеты индекса и сопоставление с фактическими данными о пожарах по отдельным, более мелким регионам Сибирского федерального округа (Алтайский край, Красноярский край, Читинская и Иркутская

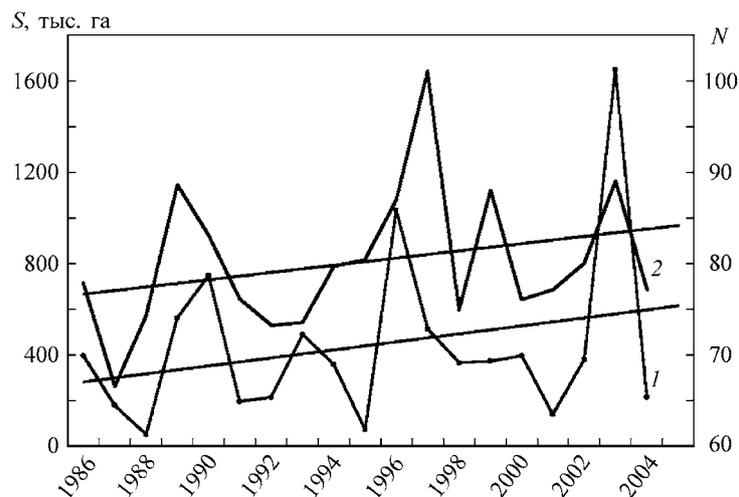


Рис. 7.3. Лесная площадь S (1), пройденная пожарами в Сибирском федеральном округе, и число дней N в году со средней потенциальной горимостью леса по индексу Нестерова G , превышающей 1000 (2). Прямые линии — линейные тренды.

области) показали совпадение только общей тенденции расчетных и фактических данных и несовпадение погодичных значений.

Эти несовпадения объяснимы и в какой-то степени ожидаемы. Потенциальная опасность возгорания леса, возникающая при определенных метеорологических условиях, не всегда материализуется в реальном пожаре, так как пожар не возникает без источника огня. В небольших регионах заметнее проявляется недостаточность одних только благоприятных метеорологических условий для лесного пожара, а на больших площадях срабатывает статистический закон больших чисел. При пожароопасных метеорологических условиях на достаточно большой лесной территории обычно находится источник огня и возникает лесной пожар. На малой территории источник огня находится реже, поэтому пожары на ограниченном малом участке возникают реже при тех же благоприятных метеорологических условиях.

Сравнение индексов Нестерова и KBDI

В данном разделе описаны результаты сопоставления двух индексов горимости между

собой и сравнительное исследование их связи с фактическими данными о лесных пожарах.

Индексы Нестерова и KBDI по-разному отражают совокупность метеорологических условий, благоприятных для возникновения пожаров. Применимость индексов должна оцениваться в каждом регионе отдельно, и выводы могут быть разными в зависимости от наличия в регионе всех указанных условий и масштабов пространственного обобщения. Между индексами существуют сходство и различие. В работе (Шерстюков, 2010) выполнено сравнение оценок потенциальной горимости леса, полученных с использованием индексов Нестерова и KBDI.

По суточным данным о температуре и осадках за 1966—2007 гг. были вычислены индексы Нестерова и KBDI для метеостанций России, оценены их многолетние средние значения для каждого суток календарного года, т. е. получен многолетний годовой ход каждого индекса для каждой станции. Далее был построен обобщенный средний годовой ход в пределах федерального округа. Для этих расчетов использовалась полная база данных ВНИИГМИ-МЦД метеорологических наблюдений России, содержащая информацию по 1612 метеорологическим станциям.

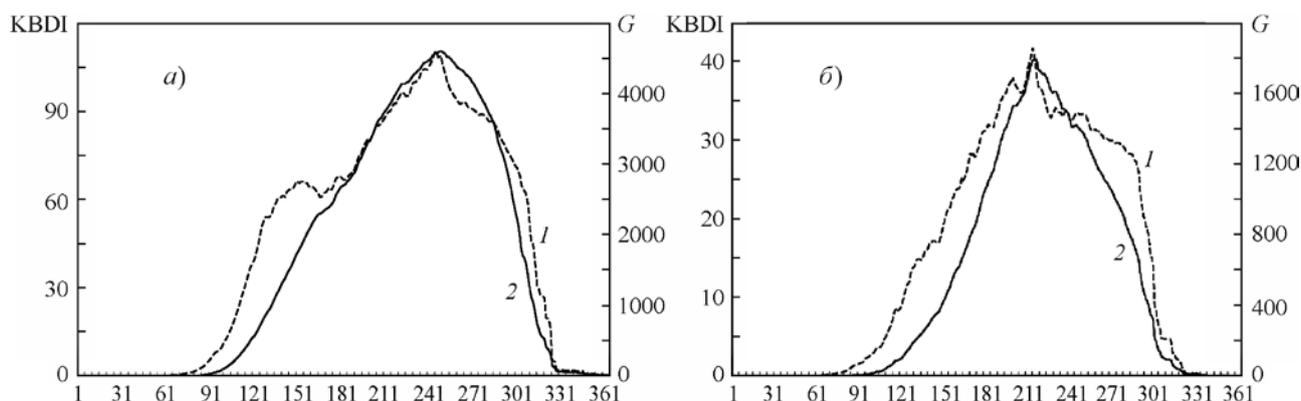


Рис. 7.4. Средний многолетний годовой ход индексов горимости Нестерова G (1) и KBDI (2) за 1966—2007 гг. в Центральном (а) и Северо-Западном (б) федеральных округах.

На рис. 7.4 показан средний многолетний годовой ход индексов для Центрального федерального округа (ЦФО) и Северо-Западного федерального округа (С-ЗФО).

На рис. 7.4 видно, что весной индекс Нестерова примерно на месяц раньше, чем индекс KBDI, начинает показывать повышение потенциальной горимости леса, а осенью индекс Нестерова дольше показывает высокую опасность возгорания леса, но потом его значение резко уменьшается. Полное отсутствие потенциальной горимости наступает одновременно по двум индексам с переходом температуры через нуль. Индекс KBDI отличается более плавным ходом. При этом, согласно обоим показателям, в ЦФО максимальная горимость леса наступает в интервале 240—270 суток от начала года, т. е. в сентябре, а в С-ЗФО максимальная горимость леса наступает в июле и августе (рис. 7.4).

Число дней в году с большими значениями индексов должно показывать продолжительность интервала года с высокой способностью леса к возгоранию. Однако не вполне ясно, каким значениям каждого из индексов соответствует начало и окончание периода с высокой метеорологической обусловленностью лесных пожаров. Для индекса Нестерова существуют критерии метеорологической опасности возгорания, а для KBDI таких критериев нет, поэтому затруднено вычисление числа пожароопасных дней в году по индексу KBDI, а сопоставление этих индексов по числу таких дней без этого невозможно. Кроме того, даже при наличии критериев для индекса Нестерова реальная опасность лесных пожаров в разных регионах может быть разной при одинаковых метеорологических условиях. Напомним, для возникновения и развития пожара необходимы еще два условия: наличие горючих материалов (достаточно сухой массы растений в каких-либо ярусах лесной экосистемы) и наличие источника огня (возгорания).

С одной стороны, при отсутствии последних двух условий никакие метеорологические

условия не могут создать опасность возгорания, но с другой стороны, при выполнении двух последних условий пожары возникают даже при малоблагоприятных метеорологических условиях. Таким образом, в универсальных критических значениях индекса всегда существует неопределенность; она влияет на применимость таких значений для регионов с разными условиями горимости участка (эти условия уже обсуждались выше).

Вследствие упомянутых выше обстоятельств, которые затрудняют объективное определение критических порогов для рассматриваемых индексов, был применен следующий чисто статистический подход. Для сопоставления оценок горимости, полученных по двум индексам, для каждого из них определялось число дней в году, в которых наблюдались 10% самых высоких значений (верхний 10%-ный процентиль).

Итак, по данным за 1966—2007 гг. для всех станций какого-либо региона для каждых суток были вычислены оба индекса. По рассчитанным значениям индекса Нестерова было определено его пороговое значение, выше которого оказалось 10% дней с наибольшими значениями индекса Нестерова. Аналогично по рассчитанным значениям индекса KBDI было получено его пороговое значение, выше которого 10% дней имели наибольшие значения KBDI. Для всех станций для каждого года было рассчитано число дней, для которых индекс Нестерова превосходил его пороговое значение (специфическое для каждой станции). Аналогично для каждой станции и каждого года было подсчитано число дней, для которых индекс KBDI превосходил его пороговое значение (также специфическое для каждой станции).

Далее для каждого года осреднением данных со всех станций региона получено среднее значение по региону числа дней с “запороговой” горимостью в двух вариантах — с использованием индексов Нестерова и KBDI.

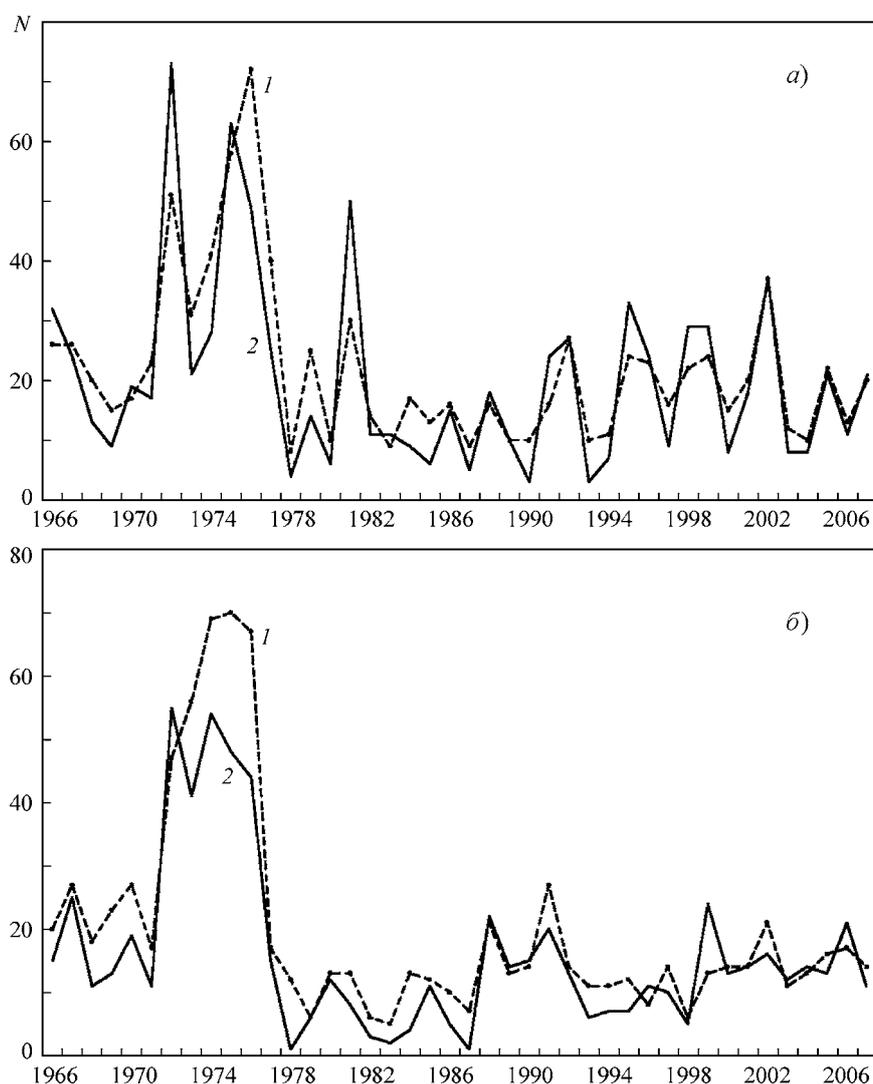


Рис. 7.5. Среднее число дней N за год с “запороговой” горимостью (т. е. когда значение индекса горимости превосходит верхний 10%-ный процентиль), рассчитанное с помощью индексов Нестерова G (1) и КВДИ (2) в Центральном (а) и Северо-Западном (б) федеральных округах.

На рис. 7.5 показан многолетний ход этих величин.

Рисунок 7.5 показывает хорошее сходство результатов расчетов встречаемости за год высоких (“запороговых”) значений горимости для рассматриваемых двух индексов. Однако попытки установить простое соотношение между этими индексами не дали результата.

Для европейской части России (ЕЧР) по данным за 1966—2007 гг. построена совокуп-

ность точек, для которых абсцисса и ордината являются соответственно значениями верхнего 10%-ного percentиля индекса Нестерова и верхнего 10%-ного percentиля индекса КВДИ (рис. 7.6). Вся совокупность точек не укладывается на какую-то определенную кривую. На рис. 7.6 можно рассмотреть два облака точек, которые соответствуют разным линиям линейной регрессии. Выявление их смысла требует дополнительных исследований.

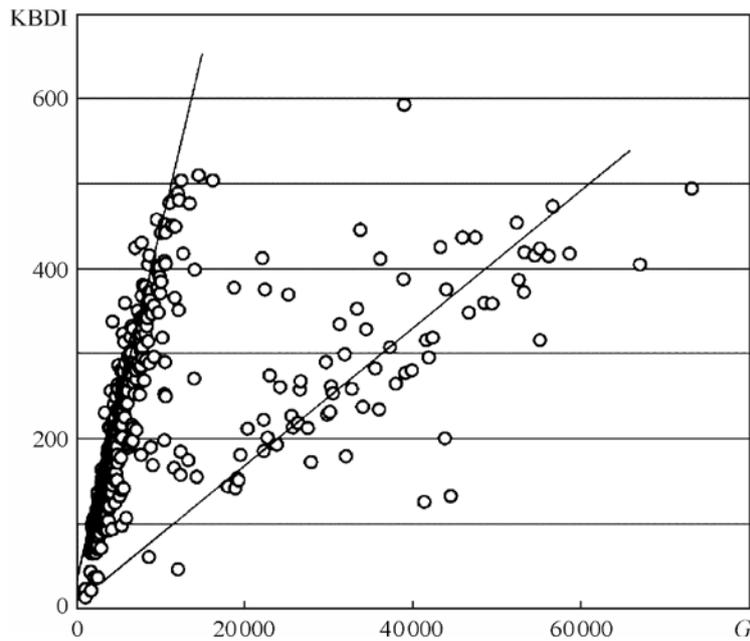


Рис. 7.6. Зависимость между верхними 10%-ными процентилями KBDI и индекса Нестерова G для метеостанций, расположенных на европейской территории России, по данным за 1966—2007 гг.

Критические значения индексов для оценки опасности возгорания леса

Для прикладных целей очень важно определить критические значения индексов, при которых обычно происходит возгорание леса в разных регионах. Если для индекса Нестерова существуют хотя бы универсальные рекомендованные ГОСТом критические значения, то для KBDI критических значений не установлено. Далее предложены критические значения для индекса KBDI, а также проведена проверка корректности рекомендованного ГОСТом критического значения для индекса Нестерова.

Выбор критического значения проводился с помощью численных экспериментов на основе сравнения расчетных данных о числе пожароопасных дней при разных критериях и с использованием фактических данных о числе лесных пожаров и данных о площади, пройденной огнем в лесах. Фактические данные о лесных пожарах взяты из статистического

справочника (Думнов и др., 2005). Процедура определения критических значений была следующей.

Задавались пробные критические значения для индекса Нестерова от 100 до 2400 с шагом 100 и пробные критические значения индекса KBDI с шагом 1 в интервале от 2 до 10 и с шагом 10 в интервале от 10 до 160. Для каждого индекса — Нестерова и KBDI — при каждом заданном пробном критическом значении вычислялось число дней в году со значением индекса больше критического.

Расчеты выполнялись для каждой станции региона, и затем проводилось осреднение по всем станциям региона. Среднее по региону число дней в году n со значением индекса больше заданного критического значения использовалось далее для сравнения с данными о лесных пожарах в исследуемом регионе. Напомним, что для каждого из рассматриваемых индексов получается свое число пожароопасных дней.

Предполагалось, что число дней n с гипотетически высокой горимостью леса должно заметно коррелировать с фактическими данными о лесных пожарах, если критическое значение выбрано правильно. Временной ряд рассчитанных оценок n сравнивался с временным рядом числа лесных пожаров. Корреляция этих двух рядов вычислялась отдельно для каждого из рассматриваемых федеральных округов. Такие экспериментальные расчеты и сравнения с фактами были выполнены по 24 пробным критическим значениям индекса Нестерова и отдельно по 24 пробным критическим значениям индекса КВДІ. Аналогичные расчеты были проведены не только для фактического числа пожаров, но и для площади, пройденной лесными пожарами.

Из всех испытанных значений наиболее правильным критическим значением индекса

признавалось такое, при котором коэффициент корреляции оказывался наибольшим.

В табл. 7.13 для трех федеральных округов приведены полученные таким способом критические значения индексов Нестерова и КВДІ. Дополнительно в таблице приведены средняя температура за интервал года с положительными среднесуточными значениями температуры и количество осадков за тот же интервал, осредненные по региону. Для площади, пройденной пожарами, аналогичные оценки приведены в табл. 7.14.

Площадь, пройденная пожарами, в меньшей мере, чем число лесных пожаров, согласуется с индексами горимости леса. Об этом свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции, представленные в табл. 7.14, по сравнению с коэффициентами, представленными в табл. 7.13. Критические значения индексов

Таблица 7.13. Критическое значение для индексов горимости леса по Нестерову и КВДІ и коэффициент корреляции R между фактическим числом лесных пожаров и числом дней с “запороговыми” значениями индекса. Оценки выполнены по данным за 1989—2004 гг.

Федеральный округ	Температура*, °С	Осадки*, мм	КВДІ	R для КВДІ	Индекс Нестерова	R для индекса Нестерова
Центральный	13,7	479	10	0,39	1100	0,72
Южный	16,5	504	120	0,54	2300	0,59
Приволжский	15,1	379	40	0,36	1800	0,31

Примечание. * Средняя температура и сумма осадков — за теплое время года, т. е. за интервал года с положительными среднесуточными значениями температуры.

Таблица 7.14. Критическое значение для индексов горимости леса по Нестерову и КВДІ и коэффициент корреляции R между площадью, пройденной пожарами, и числом дней с “запороговыми” значениями индекса выше критического. Оценки выполнены по данным за 1989—2004 гг.

Федеральный округ	Температура*, °С	Осадки*, мм	КВДІ	R для КВДІ	Индекс Нестерова	R для индекса Нестерова
Центральный	13,7	479	10	0,29	700	0,63
Южный	16,5	504	—	—	2000	0,14
Приволжский	15,1	379	10	0,34	200	0,25

Примечание. * Средняя температура и сумма осадков — за теплое время года, т. е. за интервал года с положительными среднесуточными значениями температуры.

оказались достаточно специфичными при оценках, использующих число пожаров и площадь, пройденную пожарами. В Центральном и Южном федеральных округах индекс Нестерова точнее отражал реальную опасность лесных пожаров, а в Приволжском федеральном округе оба индекса плохо отражали реальную опасность.

Принято считать, что средняя (по шкале) пожарная опасность наступает при индексе Нестерова $G > 1000$. Но в табл. 7.13 и 7.14 видно, что по фактическим данным о лесных пожарах возгорание леса происходит преимущественно при других значениях G , разных в разных регионах.

Как видно в табл. 7.13, наилучшим критическим значением возникновения числа лесных пожаров в ЦФО является значение индекса Нестерова 1100, а не 1000, как принято в ГОСТе, хотя эти значения и близки. На рис. 7.7а для ЦФО показан многолетний ход числа дней в году со значениями индекса Нестерова больше 1100 и числа лесных пожаров по фактическим данным. Графики демонстрируют удовлетворительное согласие.

Наилучшим критическим значением КВДИ для ЦФО оказалось 10. Многолетний ход числа суток в году со значениями КВДИ > 10 и

число лесных пожаров показаны на рис. 7.7б. Согласие здесь хуже, чем в предыдущем случае для индекса Нестерова. Поэтому в ЦФО для оценок предпочтительнее пользоваться индексом Нестерова.

В Южном федеральном округе (ЮФО) для обоих индексов более тесная корреляция наблюдается с числом лесных пожаров по сравнению с площадью, пройденной огнем.

Площадь, пройденная огнем, мало зависит от числа “запороговых” значений обоих рассматриваемых индексов. Критическим (т. е. наилучшим пороговым) значением для индекса Нестерова для ЮФО является 2300, а для индекса КВДИ — 120. На юге ЕЧР из-за высокой температуры и глубокого иссушения пожары, однажды возникшие, уже мало зависят от количества летних осадков. Продолжающиеся пожары выжигают большие площади лесных массивов независимо от дальнейшей погоды. Поэтому площади лесных пожаров хуже коррелируют с числом закритических значений обоих рассматриваемых индексов. Полученное в оценках критическое значение для индекса Нестерова для ЮФО более чем в два раза превышает значение 1000, установленное по ГОСТу.

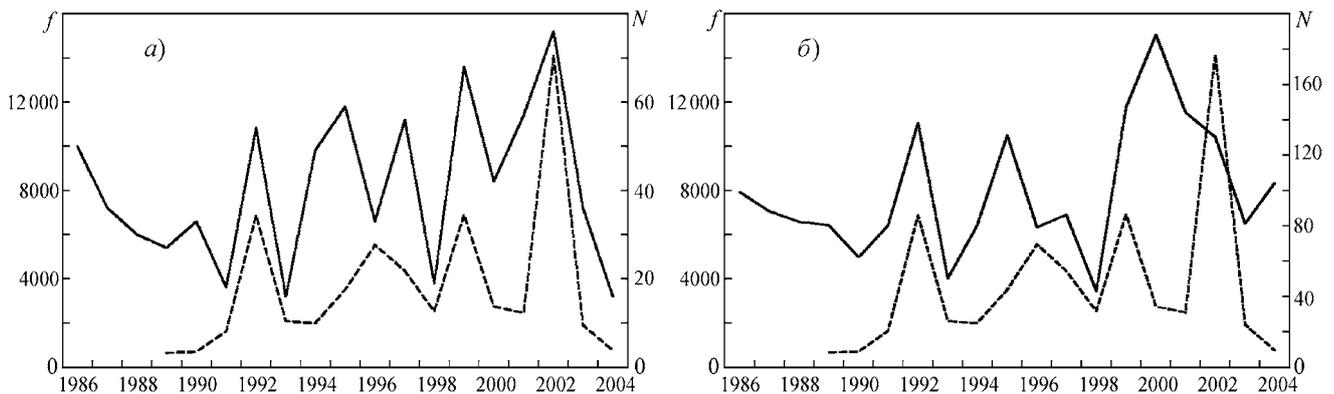


Рис. 7.7. Число пожароопасных дней N со значением индекса Нестерова > 1100 (а, сплошная линия) и индекса КВДИ > 10 (б; сплошная линия) и фактическое число лесных пожаров f (штриховая линия) в Центральном федеральном округе в 1986—2004 гг.

Для Приволжского федерального округа по числу пожаров критическим (т. е. наилучшим пороговым) для индекса Нестерова является значение 1800, а для индекса КВДИ — 40.

Судя по данным табл. 7.13, критическое значение больше в тех районах, в которых выше средняя температура.

Полученные результаты показывают, что в разных регионах ЕЧР необходимо использовать уточненные региональные критические значения индекса Нестерова при определении угрозы возгорания леса. Ведь возгорание леса и продолжительность лесных пожаров зависят от многих факторов. Их совокупность становится критической при разных условиях погоды. Поэтому критические значения индекса Нестерова следует выбирать дифференцированно по регионам. Не случайно ГОСТ допускает применение региональных критериев при определении класса пожарной опасности.

Представленные результаты исследований показывают, что существующие индексы горимости леса нуждаются в усовершенствовании. При всей очевидности роли метеорологических условий в возникновении опасности лесных пожаров нельзя недооценивать роли других факторов и региональных особенностей, которые могут очень сильно корректировать критические значения индексов, характеризующие класс опасности возгорания.

Однако при изучении последствий изменения климата в части их влияния на лесные пожары индексы горимости леса вполне пригодны, если исследовать их относительные изменения во времени. При таких исследованиях можно получать относительные оценки изменений метеорологической составляющей в уровне опасности возгорания леса при изменении климата, не затрагивая другие факторы. А вот прогноз абсолютного числа пожаров необходимо делать с учетом других меняющихся факторов.

Подчеркнем еще раз, что рассматриваемые индексы отражают только условия возгорания (их метеорологическую составляющую). Дальнейший процесс горения идет по другим

законам. Возгоранию леса действительно могут препятствовать осадки 2,5—3,0 мм в сутки и больше, но возникший пожар при таких осадках не обязательно прекращается. Это одна из причин низких значений коэффициентов корреляции между числом дней с закритическими значениями индексов и площадью, пройденной огнем. Это подтверждает, что после возникновения лесного пожара его развитие уже нельзя оценивать теми же методами, что опасность его возникновения. Статистические связи еще более маскируются мероприятиями по пожаротушению.

Известно, что если длительная сухая погода привела к масштабным лесным пожарам в каком-то регионе, то даже летние ливни локального характера не могут полностью погасить пожары. Остановить лесные пожары могут только обложные осенние дожди или установление снежного покрова.

Сравнение оценок, полученных с помощью индекса Нестерова, с картиной лесных пожаров, полученной по спутниковым данным

Регулярные наземные наблюдения за лесными пожарами ведутся только в зоне активной охраны лесов, охватывающей 2/3 общей площади лесного фонда России. В северных районах Сибири и Дальнего Востока, охватывающих 1/3 лесного фонда, учет пожаров практически отсутствует. Поэтому спутниковые данные имеют большое значение.

Сравнение спутниковых данных о лесных пожарах и расчетных данных, полученных с помощью индекса Нестерова, проводилось на примере территории Сибири. На сайте Байкальского регионального информационного компьютерного центра <http://geol.irk.ru/bricc.htm> ежедневно выставляются космические снимки, принимаемые со спутника “EOS-AM-1” (“Terra”) станцией, расположенной в

Иркутске. Радиус обзора 3000 км. Используются данные прибора MODIS. Более высокое разрешение прибора MODIS спутника “Terra” (250×250 м на точку) по сравнению с более ранним прибором AVHRR спутника “NOAA” (1100×1100 м на точку) позволяет проводить анализ пожарной обстановки. Для цифрового детектирования пожаров используется стандартный алгоритм, разработанный NASA для данных MODIS-MOD14 (Justice et al., 2006).

Этот алгоритм позволяет определять участки с лесными пожарами и их географические координаты. Как правило, возникший пожар продолжается длительное время. При этом он смещается в пространстве, меняя свои координаты. За сутки спутник “Terra” делает три витка, поэтому все продолжающиеся пожары фиксируются трижды. Для получения количественной оценки масштаба лесных пожаров его можно характеризовать числом очагов пожаров (M) на фиксированной территории за сутки (например, в одноградусном квадрате географической сетки):

$$M = (f_1 + f_2 + f_3) / 3. \quad (7.6)$$

Здесь f — число зафиксированных спутником очагов пожара на заданной территории при 1-м, 2-м и 3-м витках за сутки. С использованием этой формулы по данным, приведенным на сайте <http://geol.irk.ru/bricc.htm>, оценено число пожаров в ячейках регулярной географической сетки $1 \times 1^\circ$ в зоне видимости приемной станции Иркутск от 60 до 160° в. д. и в широтной зоне от южных границ России до 65° с. ш. Суммирование суточных значений (M) проводилось за сезон май — август, как за наиболее опасный в пожарном отношении период года. Величина M показывает не число возгораний, а число очагов лесных пожаров с учетом их продолжительности. Если пожар в некотором квадрате продолжается несколько дней, то он учитывается столько раз, сколько дней наблюдается.

На рис. 7.8 показана карта пространственного распределения числа очагов пожаров в 2003 г. в Сибири по спутниковым данным (число пожаров в пространственной ячейке $1 \times 1^\circ$).

На карте, представленной на рис. 7.8, видно, что на урбанизированных территориях (юг Сибири, долины рек Лена, Алдан, Колыма) число пожаров больше, чем в малонаселенных районах.

Для тех же месяцев (май — август) 2003 г. вычислены ежедневные значения индекса Нестерова и подсчитано число дней со средней потенциальной горимостью леса ($G > 1000$) за пожароопасный сезон. Результаты показаны на карте рис. 7.9.

Сопоставление карты, представленной на рис. 7.9, с картой пространственного распределения лесных пожаров, составленной по спутниковым данным (рис. 7.8), показывает, что фактические пожары возникают в местах с высокой потенциальной опасностью по индексу Нестерова, но не всегда высокая потенциальная опасность означает фактическое возникновение пожара. Это еще раз подтверждает то, что индекс описывает лишь одно необходимое условие для возникновения лесного пожара, но не учитывает других важных условий (в первую очередь, наличие леса и источника огня).

Однако использование индекса Нестерова позволяет (и это важно) оценить пожароопасность на неохраваемой территории, где пожары в лесах остаются незамеченными и нет спутниковых данных о них. Кроме того, оценки потенциальной горимости леса по метеорологическим данным позволяют прогнозировать вероятность возникновения лесных пожаров, опираясь на мониторинг значений индекса и прогноз погоды, и помогают при необходимости принимать предупредительные меры.

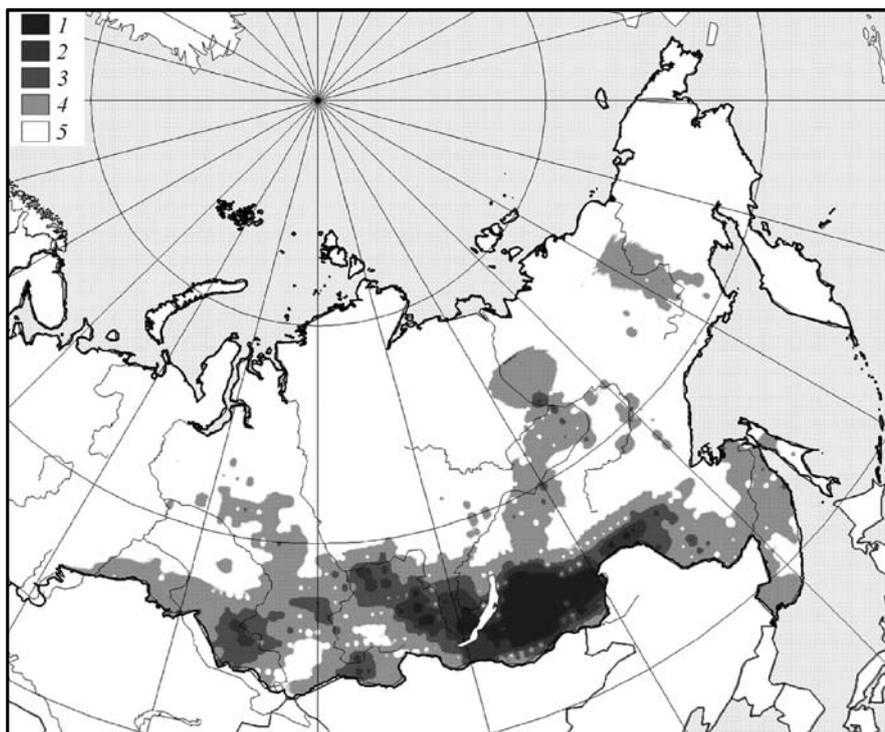


Рис. 7.8. Число очагов пожаров в 2003 г. в Сибири по спутниковым данным (пространственная ячейка $1 \times 1^\circ$).
1) 200—300; 2) 100—200; 3) 50—100; 4) 10—50; 5) 0—10.

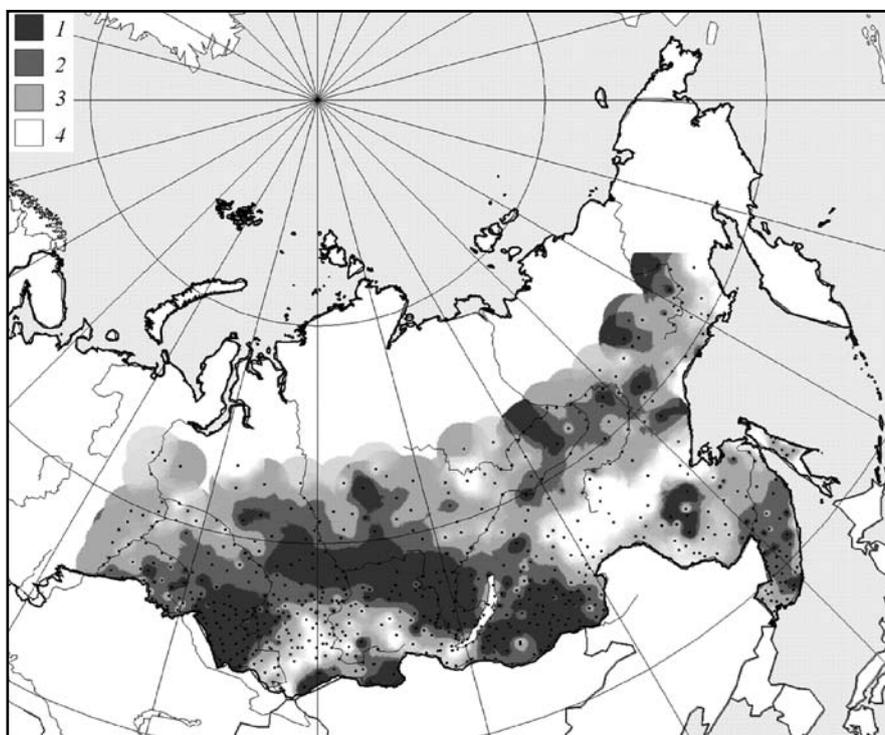


Рис. 7.9. Число дней за май — август 2003 г. в Сибири с опасной потенциальной горимостью леса ($G > 1000$).
1) 80—100; 2) 70—79; 3) 60—69; 4) 30—59.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

Вопросам влияния изменения климата на лесные пожары посвящен целый ряд исследований (Flannigan, Van Wagnere, 1991; Kasischke et al., 1995; Torn, Fried, 1992). В этих работах, в частности, показано увеличение числа пожаров на территории США и Канады, вызванное потеплением климата.

В России в 1985—2004 гг. как число лесных пожаров, так и лесная площадь, пройденная пожарами, в целом увеличивались (Шерстюков, Шерстюков, 2007) (рис. 7.10).

Как уже было отмечено, способность леса к возгоранию зависит от метеорологических условий. Для оценок влияния изменений климата на лесные пожары индекс Нестерова более пригоден, чем фактические данные о пожарах, так как индекс отражает только метеорологическую составляющую лесного пожара. Изложим метод оценки временного тренда в оценках метеорологической составляющей опасности лесных пожаров, следуя работе (Оценочный доклад..., 2008).

Исходя из данных наблюдений сначала для каждой метеостанции для каждых суток вы-

числяется значение индекса Нестерова. Далее для каждого года t определяется число суток $N(t)$ со “средней и выше” потенциальной горимостью леса ($G > 1000$). Это значение индекса, при котором велика угроза возникновения пожара.

За многолетний период времени от года t_0 до года t_1 для значений N строится линейная регрессия $N^*(t)$, и вычисляются smoothed значения в начале периода $N^*(t_0)$ и в конце периода $N^*(t_1)$. Отношение их разности к значению $N^*(t_0)$, выраженное в процентах, является характеристикой изменения потенциальной горимости леса на отрезке времени $[t_0, t_1]$:

$$\Delta_{\%}N^* = 100 [N^*(t_1) - N^*(t_0)] / N^*(t_0). \quad (7.7)$$

Далее такие оценки, полученные для географических пунктов расположения метеостанций, являются предметом картирования. Это выполняется с помощью обычных картографических пакетов. Результаты представлены на рис. 7.11. На этих рисунках градации изменений 0% означают отсутствие изменений как по метеорологическим условиям, так и по причине отсутствия леса в тундровой зоне.

В весенний период (рис. 7.11a) на ЕЧР в 1971—2004 гг. увеличение числа суток с го-

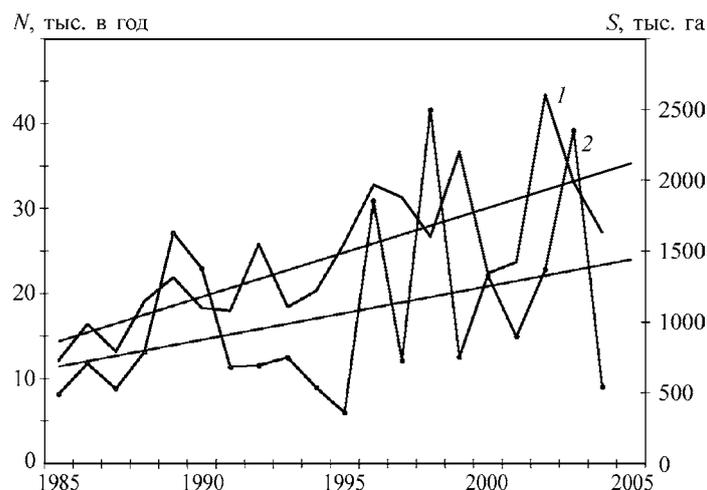


Рис. 7.10. Число лесных пожаров в России N (1) и лесная площадь S (2), пройденная пожарами, в 1985—2004 гг. (Думнов и др., 2005). Прямые линии — линейные тренды.

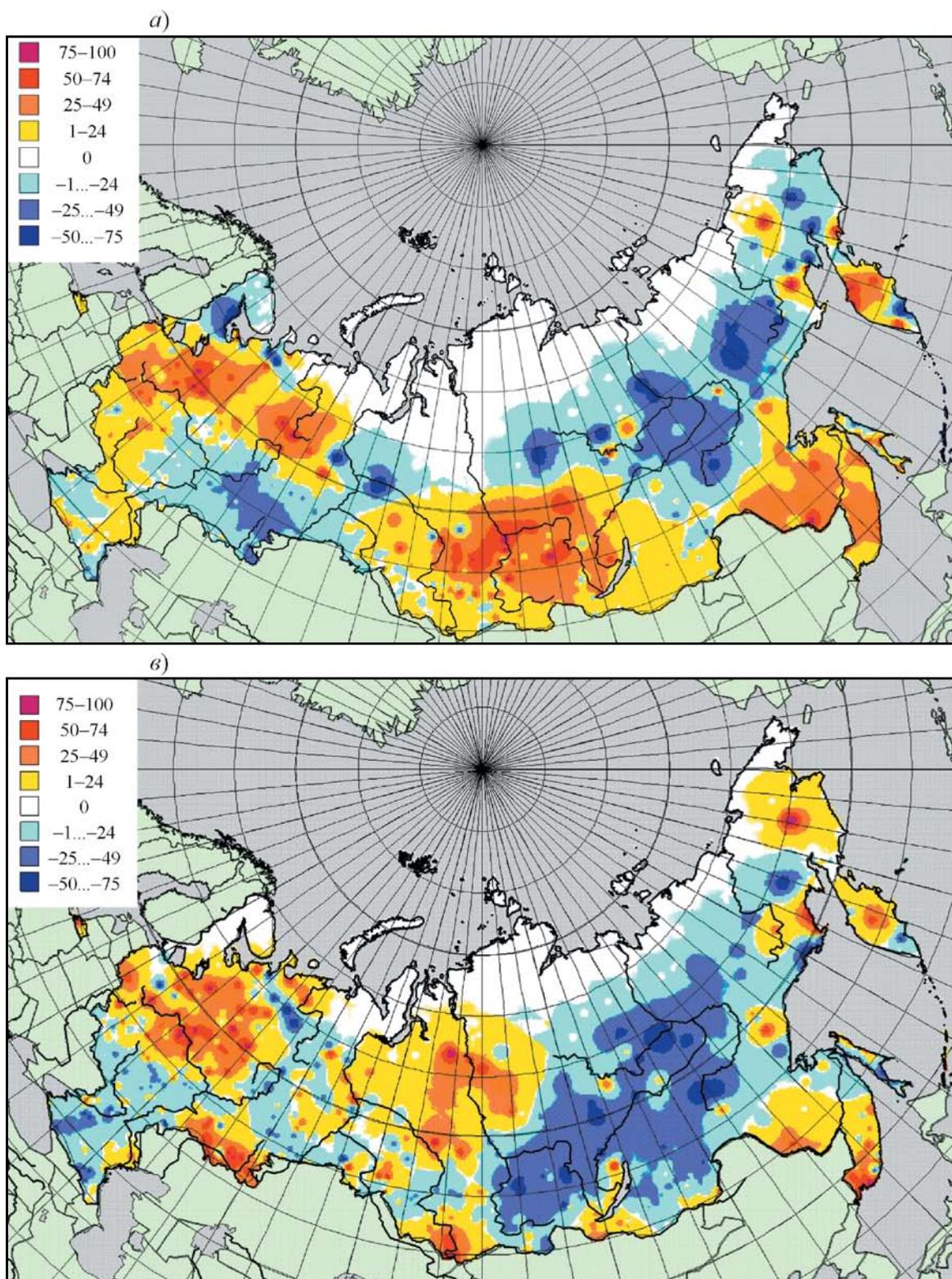
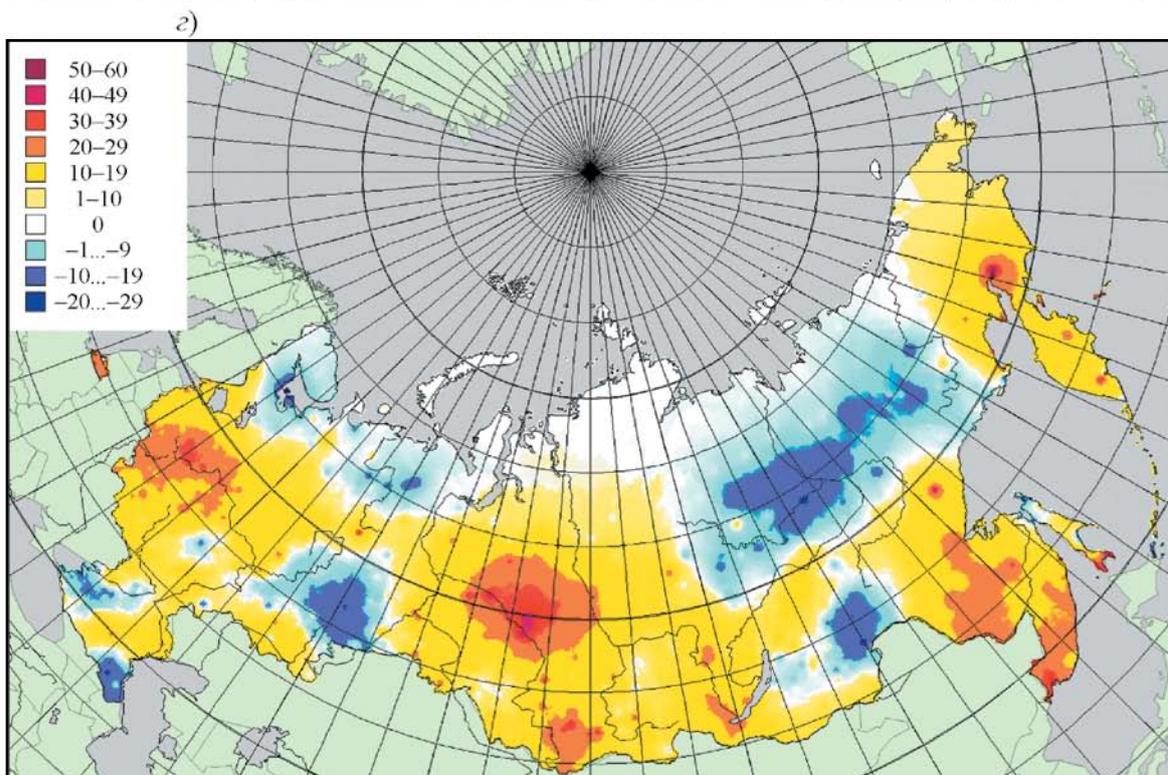
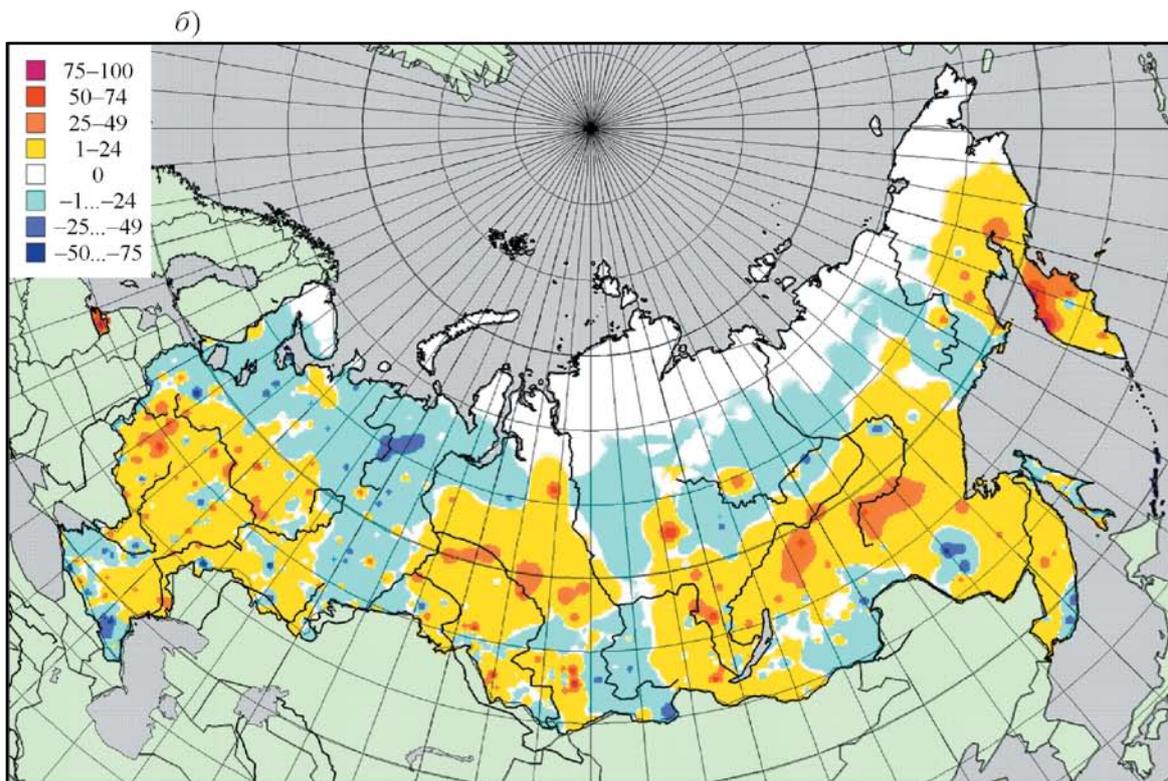


Рис. 7.11. Увеличение числа суток (%) с горимостью средней и выше ($G > 1000$) в весенний (апрель — май; *a*), летний



(июнь — август; б) и осенний (сентябрь — октябрь; в) периоды и в целом за календарный год (в) за 1971—2004 гг.

римостью “средней и выше” находилось преимущественно в пределах до 50%. Большое увеличение (на 25—50%) на ЕЧР наблюдается на широтах 55—65° с. Такие же изменения числа пожароопасных дней весной произошли на юге Сибири (в верховьях Оби, Енисея, в Прибайкалье и Забайкалье) и Дальнего Востока (Приамурье и Камчатка). Но в некоторых из них число пожароопасных дней увеличилось на 50—75%. Уменьшилась пожароопасность весной на Южном Урале, на Кольском п-ове и прилегающей территории, а также на широтах 60—65° с. в Сибири и на Дальнем Востоке.

В летний период (рис. 7.11б) на ЕЧР число дней с горимостью “средней и выше” в 1971—2004 гг. увеличилось на 1—24% в низких и средних широтах, а в высоких — уменьшилось на 1—24%. Относительное увеличение числа суток с горимостью “средней и выше” на 1—24% наблюдается в Сибири между Обью и Енисеем южнее 65° с. ш., в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке южнее 60—65° с. ш. А в высоких широтах Сибири наблюдалось уменьшение на 25%.

В осенний период (рис. 7.11в) за 1971—2004 гг. увеличение на 25—50% числа суток с горимостью “средней и выше” произошло в средних и высоких широтах ЕЧР, на юге и востоке Западной Сибири, в Приамурье, на Камчатке. Уменьшение на 25—50% произошло осенью в верховье Енисея и Ангары, в бассейне Лены.

За календарный год (рис. 7.11г) в 1971—2004 гг. увеличение числа суток с горимостью “средней и выше” на 10—19% произошло на всех широтах на ЕЧР, за исключением ее северной части; там пожароопасность уменьшилась на 10—19%. Увеличение на 10—39% произошло почти везде в южной половине всей азиатской части России (АЧР). Уменьшение числа суток с горимостью “средней и выше” на 10—19% наблюдалось в широтной зоне 62—67° с. на востоке Восточной Сибири и далее на восток до Колымы.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляев А. И., Коровин Г. Н., Лупян Е. А., 2005. Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ, в сб.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений, М., GRANP polygraph, т. 1, с. 20—29.
- Вонский С. М., Жданко В. А., 1967. Методические указания по оценке степени засушливости пожароопасных сезонов и расчету вероятности их наступления, Л., ЛенНИИЛХ, 21 с.
- ГОСТ Р 22.1.09-99, 1999. Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. ОКС 13.020, ОКСТУ 0022, дата введения 01.01.2000, 13 с.
- Думнов А. Д., Максимов Ю. И., Рощупкина Ю. В., Аксенова О. А., 2005. Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник), под ред. А. Д. Думнова, Н. Г. Рыбальского, М., НИА-Природа, 229 с.
- Жданко В. А., 1965. Научные основы построения местных шкал и значение их при разработке противопожарных мероприятий, в кн.: Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними, под ред. И. С. Мелехова, М., Лесная промышленность, с. 53—86.
- Жданко В. А., Гриценко М. В., 1980. Метод анализа лесопожарных сезонов: практические рекомендации, Л., ЛНИИЛХ, 19 с.
- Задонина Н. В., Саньков В. А., Леви К. Г., 2004. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Природные катастрофы и организация превентивных мероприятий при чрезвычайных ситуациях. Книга IV, Иркутск, Иркутский государственный технический университет, 85 с.
- Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами (Практические рекомендации), 2002. Красноярск, Институт леса им. В. Н. Сукачева, 62 с.
- Иванов В. А., Коршунов Н. А., Матвеев П. М., 2004. Пожары от молний в лесах Красноярского Приангарья, Красноярск, СибГТУ, 132 с.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Уткин А. И., Пряжников А. А., Замолодчиков Д. Г., 1993. Оценка запасов годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России, Лесоведение, № 5, с. 3—10.

- Кондратьев К. Я., Григорьев А. А., 2004.** Лесные пожары как компонент природной экодинамики, *Оптика атмосферы и океана*, т. 17, вып. 4, с. 279—292.
- Кондратьев К. Я., Крапивин В. Ф., Потапов И. И., 2005.** Статистика природных катастроф, в сб.: Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: Обзорная информация, М., № 5, с. 57—76.
- Конев Э. В., 1984.** Теплофизика лесных пожаров, Новосибирск, Институт теплофизики СО АН СССР, с. 99—125.
- Коровин Г. Н., Исаев А. С., 1998.** Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России, *Лесной бюллетень*, № 8—9, www.forest.ru.
- Коровин Г. Н., Зукерт Н. В., 2003.** Влияние климатических изменений на лесные пожары в России, в кн.: Климатические изменения: взгляд из России, под ред. В. И. Данилова-Данильяна, М., ТЕИС, с. 69—98.
- Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды, 1975.** М., Гидрометеиздат, 15 с.
- Официальный сайт ФГУ “Авиалесоохрана”** <http://www.avialeso.ru/default.aspx?textpage=34>.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2008.** Том II. Последствия изменений климата, М., Росгидромет.
- Потапова Т., 2003.** Лесные пожары в России, В мире науки. Окружающая среда, № 3, www.sciam.ru/2003/3/sreda1.shtml.
- Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров, 2004.** Д. В. Ершов, Г. Н. Коровин, Е. А. Лупян, А. А. Мазуров, С. А. Тащилин, в сб.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей, М., Полиграф сервис, с. 47—57.
- Сментин В. Л., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Ершов Д. В., 2005.** Использование специалистами ФГУ “Авиалесоохрана” информационной системы дистанционного мониторинга (ИСДМ РОСЛЕСХОЗ) в целях прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами, в сб.: Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. V научно-практическая конференция, 15—16 ноября 2005 г. Сборник материалов, М., Центр “Антистихия”, с. 115.
- Софронов М. А., 1967.** Лесные пожары в горах Южной Сибири, М., Наука, 152 с.
- Харук В. И., Двинская М. Л., Ренсон К. Дж., 2005.** Пространственно-временная динамика пожаров в лиственничных лесах северной тайги средней Сибири, *Экология*, № 5, с. 1—10.
- Харук В. И., Щербинина И. С., Якубайлик Ш. Э. и др., 2004.** Гари о. Сахалин: анализ пространственного распределения на основе ГИС-технологий, *Лесоведение*, № 5, с. 66—72.
- Швецов Е. Г., Сухинин А. И., 2007.** Вероятностная технология обнаружения и оценки интенсивности природных пожаров по данным спутниковой съемки, *Вестник ТГУ*, № 304, с. 191—194.
- Шерстюков Б. Г., 2010.** Потенциальная опасность лесных пожаров на Европейской территории России в оценках по метеорологическим данным, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 175, с. 243—252.
- Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2007.** Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, с. 137—151.
- Flannigan M. D. and Van Wagner C. E., 1991.** Climate change and wildfire in Canada, *Can. J. Forest Res.*, vol. 21, pp. 66—72.
- Justice Cr., Louis G., Boschetti L., Roy D., Csiszar I., et al., 2006.** Algorithm Technical Background Document. MODIS FIRE PRODUCTS. Version 2.3, 1 October 2006. EOS ID# 2741, 34 p.
- Kasischke E. S., Christensen N. L. Jr., and Stocks B. J., 1995.** Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests, *Ecol. Appl.*, vol. 5, pp. 437—451.
- Kasischke E. S. and Bruhwiler L. P., 2002.** Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998, *J. Geophys. Res.*, vol. 107, 8146 p., doi: 10.1029/2001JD000461, (printed 108(D1)).
- Keetch J. J. and Byram G., 1968.** A drought index for forest fire control. U.S.D.A. Forest Service Research Paper SE-38 November 1968 Res. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 32 p.
- Kidwell K. B., 1988.** NOAA Polar Data User’s Guide: NOAA NESDIS, NCDC, 148 p.
- Panyushkina I. P., Huges M. K., Vaganov E. A., et al., 2003.** Summer temperature in northeastern Siberia since 1642 reconstructed from tracheid dimensions and cell numbers of *Larix cajanderi*, *Can. J. Forest Res.*, vol. 33, pp. 1905—1914.

- Safronov M.A., Volokitina A.V., and Kajimoto T., 1999.** Ecology of wildland fires and permafrost: Their interdependence in the northern part of Siberia, in: Proceeding of the Eighth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1999, Sapporo, Hokkaido University Forests, pp. 211–218.
- Sukhinin A.I., French N.H.F., Kasischke E.S., et al., 2004.** AVHRR-based mapping of fires in Russia: New products for fire management and carbon cycle studies, *Remote Sens. Environ.*, No. 93, pp. 546–564.
- Torn M.S. and Fried J.S., 1992.** Predicting the impact of global warming on wildland fire, *Climatic Change*, vol. 21, pp. 257–274.