

Опыт лесоводственного анализа последствий пожаров по космическим изображениям

В.М. Жирин, С.П. Эйдлина, С.В. Князева

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия
E-mail: vmzh@smtp.ru

Современный облик лесов отдаленных северо-восточных районов Сибири и Дальнего Востока (где авиапатрулирование не проводится совсем или проводится эпизодически) находится в зависимости от частых природных пожаров. Кроме того, характерной особенностью этой территории является мозаичная структура земель лесного фонда. В этих условиях материалы космической съемки оказываются одним из немногих источников объективной информации о пирологической характеристике участков лесной растительности. В результате исследований установлена связь последствий природных пожаров 2000 г. с распределением категорий земель, преобладанием лесообразующих пород в пострадавших насаждениях, распространением типов леса лесных земель, орографическими характеристиками местности по данным космического снимка ETM+ / Landsat 7 в лесном массиве модельной территории.

Ключевые слова: природные пожары, космические снимки, классы выгоревших участков, классификация изображений.

Введение

В отличие от многолесных районов страны характерной особенностью отдаленных северо-восточных лесных районов Сибири и Дальнего Востока является повсеместно сложная и пестрая структура земель лесного фонда. Кроме того, современный облик лесов, где авиапатрулирование подразделениями «Авиалесоохраны» не проводится совсем или проводится эпизодически, находится в зависимости от частых природных пожаров. Исследование в этих условиях индикационной роли пожаров с помощью космических снимков способствует получению дополнительной информации о пирологической характеристике участков лесной растительности. Эта характеристика, полученная на основе анализа изображений выгоревших участков, а также с учетом особенностей распределения бывших до пожара категорий земель лесного фонда, дает представление о последствиях прошедших пожаров. При наличии данных лесоинвентаризации возможна также приближенная оценка экологического ущерба.

Исходные положения

Модельной территорией для проведения исследований послужили лесной массив Омсукчанского лесничества (Магаданская область), а также прилегающие земли лесного фонда, на которых в период с июля до конца августа 2000 г. наблюдались многочисленные природные пожары.

В лесном массиве произрастают насаждения лиственницы (*Larix dahurica*, *Larix sibirica*), кедрового стланика (*Pinus pumila*), различных видов ерника – карликовой березы

(*Betula nana*, *B. exilis*, *B. Rotundifolia* и др.), в поймах рек – чозении крупночешуйчатой (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A-Skvorts.) и других древесных пород, чередующихся с естественными рединами лиственницы, гарями прошлых лет и нелесными землями (марями, горными тундрами, гольцами, крутыми склонами и др.) (Растительный покров СССР, 1956) (рис. 1).

По данным лесоинвентаризации, в Омсукчанском лесничестве в составе лесного фонда выделены следующие земли (в процентах общей площади): насаждения разных пород – 31,8; естественные редины лиственницы – 13,8; гарь прошлых лет в различной стадии зарастания – 19,0; гольцы и крутые склоны – 15,9; горные тундры – 13,0; мари – 6,3; прочие земли – 0,2%.

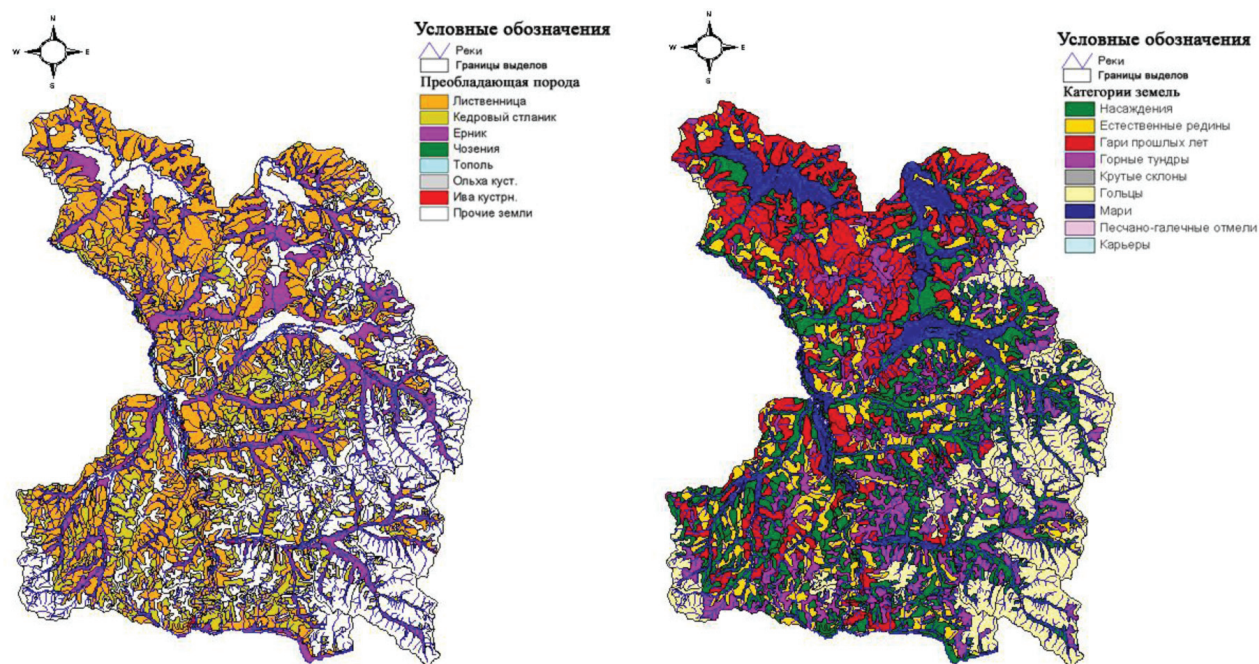


Рис. 1. Схематические карты преобладающих пород (слева) и категорий земель (справа) лесного массива Омсукчанского лесничества

К основным лесообразующим породам относится лиственница, насаждения и естественные редины которой образуют одну лесную экосистему. На рис. 2 показана динамика относительной полноты древостоев лиственницы с возрастом. Видно, что в 100-летнем возрасте полнота и без того редкостойных насаждений лиственницы снижается ниже порогового значения 0,3, что по нормативам лесоустройства служит основанием для выделения их в отдельную категорию земель – «естественные редины».

После пожаров на месте насаждений и редин лиственницы, т.е. на гарях прошлых лет разной давности, возникают сначала травяно-кустарниковые ассоциации, а затем в течение 30–50 лет послепожарного периода формируются заросли ерника, внутри которых может накапливаться подрост лиственницы. Распространение зарослей ерника, таким образом, играет важную роль в лесовосстановительной динамике лиственничных лесов северо-восточных районов страны.

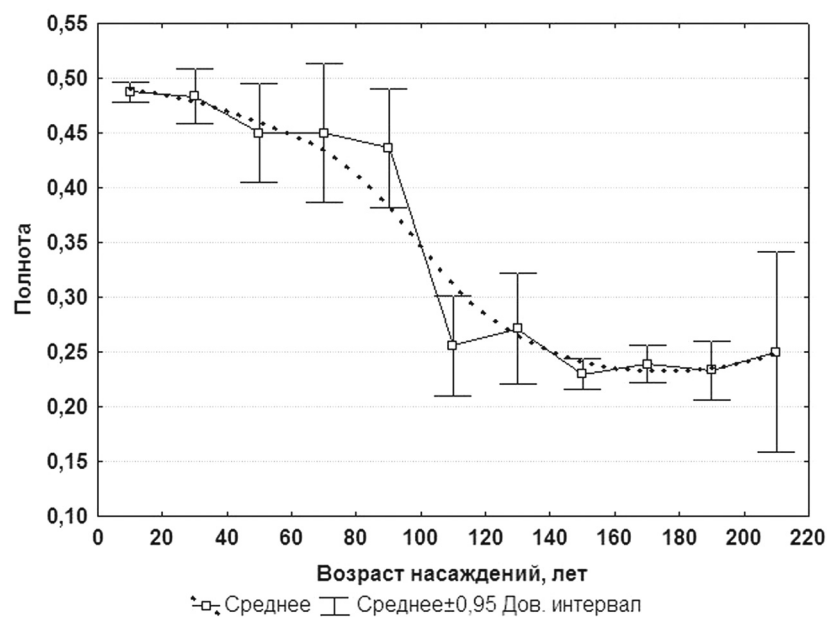


Рис. 2. Динамика относительной полноты древостоев лиственницы

Для лесного массива модельной территории характерно распространение следующих основных типов леса: лишайникового (48,5%), бруснично-багульникового (30,2%), кедрово-стланикового (14,9%) (Поздняков, 1961). Остальные типы леса (брусничный, голубично-багульниковый, разнотравный, травяно-хвощевый и др.) распространены на небольших по площади участках.

Последствия летних пожаров хорошо заметны на синтезированном космическом снимке ETM+ / Landsat 7 (съемка 31 августа 2000 г.) по оттенкам темно-коричневого цвета (рис. 3). В овале располагается пожарище¹, которое находится в границах лесного массива модельной территории. Остальные выгоревшие участки разместились за пределами Омсукчанского лесничества.

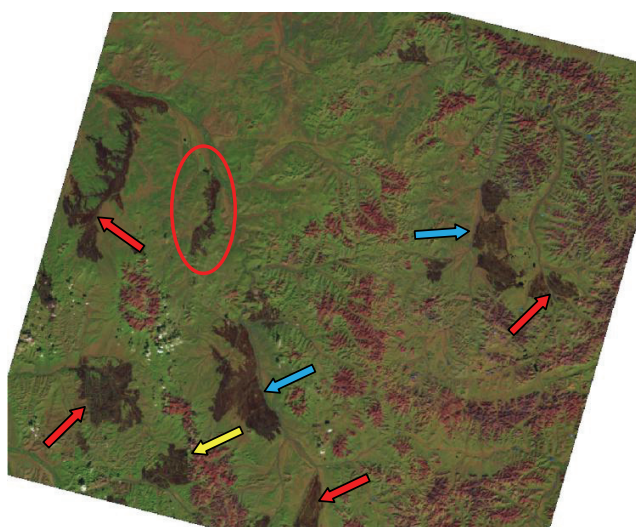


Рис. 3. Космический снимок ETM+ / Landsat 7 с изображением последствий пожаров

¹ К пожарищам относятся категории земель лесного фонда, пройденные природными пожарами и имеющие огневые повреждения.

На снимке также видно, что выгоревшие участки имеют преимущественно вытянутую форму, свидетельствующую о сильном ветре во время пожара. Менее вытянутая форма пожарищ чаще всего указывает на огневое воздействие устойчивых низовых пожаров. В большинстве случаев преградой для распространения огня послужила речная сеть (голубые стрелки на *рис. 3*), реже гольцы (желтая стрелка). Однако заметны и участки пожарищ, расположенные по обе стороны малых рек (красные стрелки).

Для анализа изображений выгоревших участков использовались орографические характеристики местности (высота над уровнем моря, азимут и крутизна склонов), полученные на основе цифровой модели рельефа, а для тех из них, которые оказались в пределах модельной территории, – данные фотостатистической лесоинвентаризации 1998–1999 гг.

Фотостатистический метод лесоинвентаризации базируется, как известно, на ландшафтно-типологической основе и стратификации территории лесного фонда по данным дешифрирования материалов космического фотографирования в масштабах 1 : 200 000 – 1 : 270 000, полученных с отечественных космических аппаратов «Ресурс-Ф» камерой КФА-1000 с разрешением на местности 7–10 м (Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве, 1989). Эти материалы космической съемки использовались до конца 90-х годов прошлого века.

Сопоставление картографических материалов лесоинвентаризации со сканерным снимком ETM+ / Landsat 7 указывает на наличие в ряде случаев расхождений в конфигурации участков различных категорий земель лесного фонда, которые устранялись в ходе проведения исследования.

Методика исследований и обсуждение результатов

Интенсивность огневого воздействия зависит от вида прошедших пожаров, их силы (мощности), варьирования запасов растительных горючих материалов, динамики их влагосодержания, условий горения (погоды, рельефа, фенологического состояния растительности) и других факторов. Свежие пожарища выявляются на мультиспектральных космических снимках по темному тону, а пиксели изображения отличаются низкими



Рис. 4. Вид свежего пожарища при съемке с вертолета

значениями спектральной яркости. Для изображения выгоревших участков растительности часто характерна неоднородная структура, что зависит от величины сгоревшего запаса растительных горючих материалов и последующего неравномерного распределения по площади продуктов горения, образующихся при выгорании древостоев, напочвенного покрова, подростка и подлеска, а также обугливания валежника (*рис. 4*).

После векторизации границ площадей, пройденных пожарами, были выделены участки, пройденные пожарами 2000 г., и созданы их маски на космическом снимке ETM+ / Landsat 7. На первой ступени обработки проведена неконтролируемая классификация, позволившая разделить все изображение выгоревших участков на 16 кластеров. Пример классификации одного из пожарищ показан на рис. 5.

В первый кластер попали открытые водные поверхности, орографические тени и тени от облаков, т.е. объекты, не относящиеся к выгоревшим участкам растительности, но имеющие наиболее темный тон, поэтому часто перепутывающиеся с выгоревшими участками. Помимо этого, кластеры с 13 по 16 образовали пиксели и группы пикселей изображения невыгоревшей зеленой растительности различного состава и происхождения внутри пожарищ. В связи с этим первый и последние кластеры были исключены из дальнейшей обработки. Оставшиеся кластеры отличались различным уровнем значений яркости изображений как в каналах видимой (GREEN, RED), так и ближней (NIR 0,75–0,90 мкм) и средней (SWIR 1,55–1,75 мкм) инфракрасной зонах спектра (рис. 6).

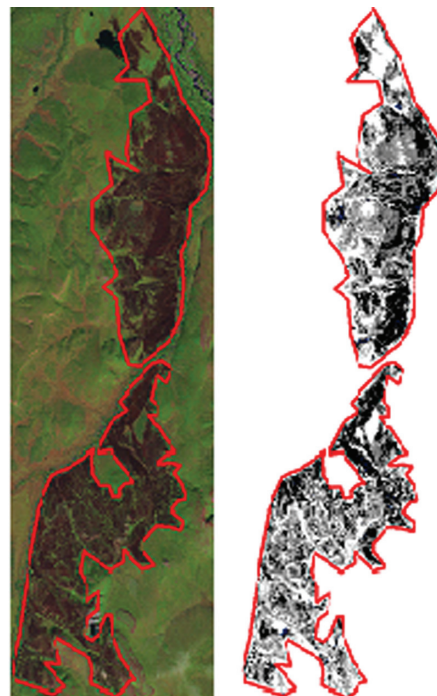


Рис. 5. Создание маски свежего пожарища (слева) и результат классификации выгоревших участков (справа)

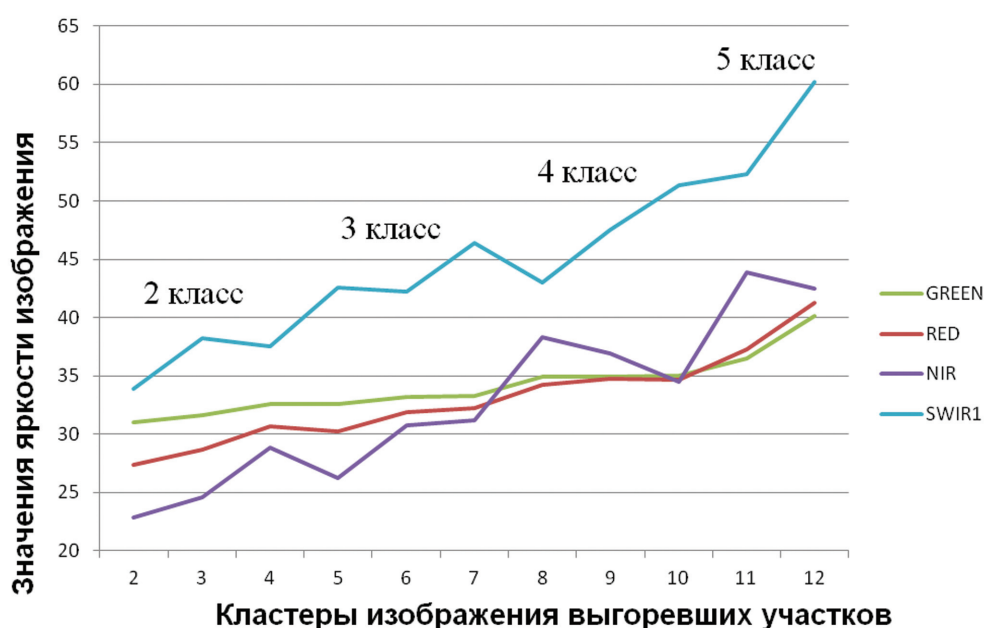


Рис. 6. Средние значения яркости кластеров изображений выгоревших участков в различных каналах космической съемки ETM+ / Landsat 7

На *рис. 6* показана тенденция к увеличению во всех каналах съемки яркости кластеров изображения, полученных при неконтролируемой классификации выгоревших участков лесного фонда. В связи с этим на второй ступени обработки оставшиеся кластеры были произвольно объединены в четыре класса выгоревших участков, различающихся по степени почернения изображения, что связано с лесоводственными представлениями об интенсивности огневого воздействия на лесную растительность:

- класс выгоревших участков 2 – включает участки лесного фонда после интенсивного огневого воздействия (кластеры 2 + 3 + 4);
- класс выгоревших участков 3 – включает участки лесного фонда после умеренного огневого воздействия (кластеры 5 + 6 + 7);
- класс выгоревших участков 4 – включает участки лесного фонда после умеренно-неравномерного огневого воздействия (кластеры 8 + 9 + 10);
- класс выгоревших участков 5 – включает участки лесного фонда после слабого огневого воздействия (кластеры 11 + 12).

Уровень значений яркости изображения в ближнем NIR и среднем инфракрасном SWIR спектральных каналах выгоревших участков иллюстрируется на *рис. 7* и *8*.

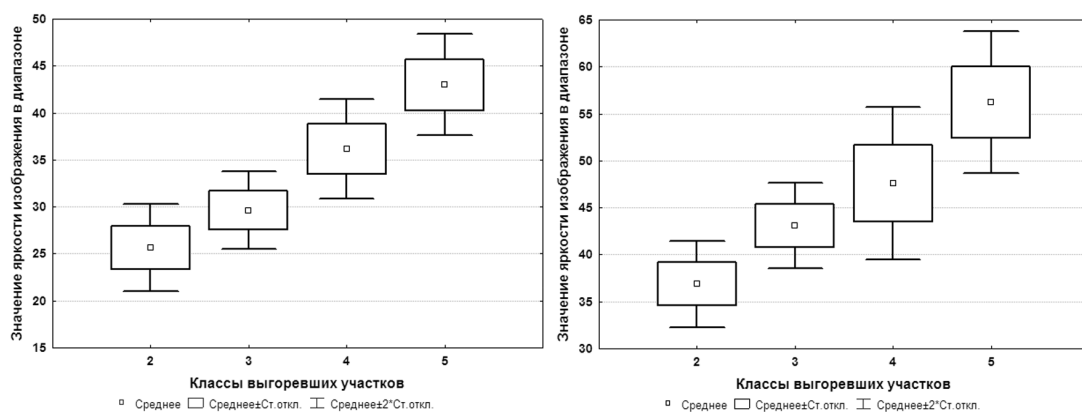


Рис. 7. Значения яркости изображения в спектральных каналах 0,75–0,90 (слева) и 1,55–1,75 мкм (справа) по классам выгоревших участков

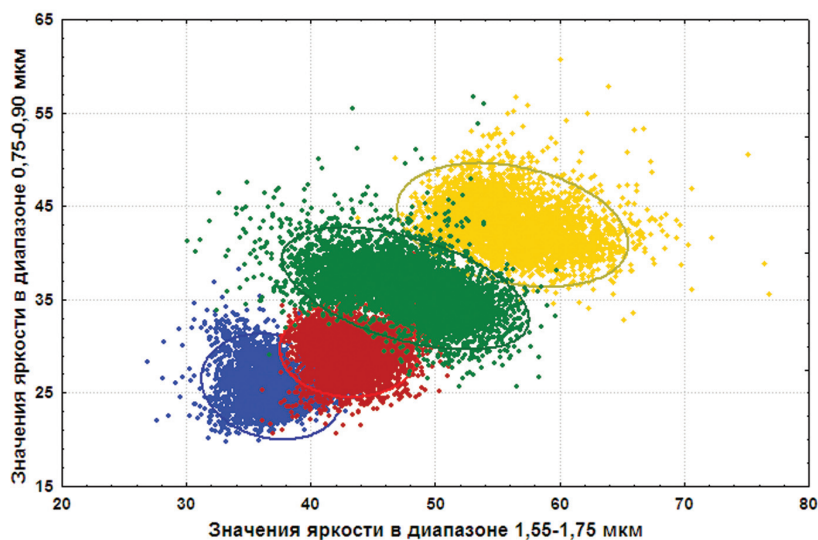


Рис. 8. Распределение значений яркости изображения в ИК-каналах по классам выгоревших участков

Видно, что уровень значений яркости изображения достаточно четко распределяется по классам выгоревших участков. Несмотря на наличие зоны взаимного перекрытия областей признаков между соседними классами, возможна классификация пожарищ при помощи статистик яркости изображения, ограниченных средним значением яркости ± 1 стандартное отклонение.

При управляемой классификации возможны и иные комбинации группировки кластеров, что может быть предметом дополнительных исследований.

Технологически классификация изображений выгоревших участков завершается кодированием пикселей выделенных классов заданными условными цветами и составлением при необходимости карты свежих пожарищ.

Характеристика выгоревших участков

В табл. 1 приведены характеристики участков, пройденных пожарами, выделенных на представленной сцене космического снимка ETM+ / Landsat 7. Из приведенных данных видно, что общая площадь выгоревших участков составила 174,3 тыс. га, а их численность достигла 20 332. По мере снижения огневого воздействия на растительность сокращается площадь пожарищ: от 59,9 во 2-м классе, 53,2 – в 3-м, 43,3 – в 4-м, до 17,9 тыс. га – в 5-м классе. Средняя площадь выгоревших участков растительности 2-го класса в два раза превышает размер участков 3-го, в три раза – 4-го и более чем в четыре раза – 5-го классов. Эти данные указывают, что сила пожаров и варьирование запасов растительных горючих материалов реально убывает от 2-го к 5-му классам.

Таблица 1. Характеристика выгоревших участков по классам интенсивности горения растительности

<i>Классы выгоревших участков</i>	<i>Общая площадь выгоревших участков, тыс. га (%)</i>	<i>Число (%) выгоревших участков</i>	<i>Средняя площадь выгоревшего участка, га</i>	<i>Средневзвешенное значение</i>		
				<i>высоты над уровнем моря, м</i>	<i>крутизны склона, град</i>	<i>азимута склона, град</i>
2	59,9 (34,4)	3304 (16,2)	18,2	515,7	1,7	173,7
3	53,2 (30,5)	5884 (28,9)	9,0	529,6	1,5	166,7
4	43,3 (24,8)	6930 (34,1)	6,2	528,0	2,0	168,4
5	17,9 (10,3)	4214 (20,8)	4,2	562,9	2,1	170,5
Всего	174,3 (100)	20332 (100)	8,6	–	–	–

Для иллюстрации орографических характеристик выгоревших участков приведены примеры их распределения по высоте над уровнем моря (ВНУМ) для выгоревших участков 2-го класса и крутизне склонов – для участков 5-го класса (рис. 9).

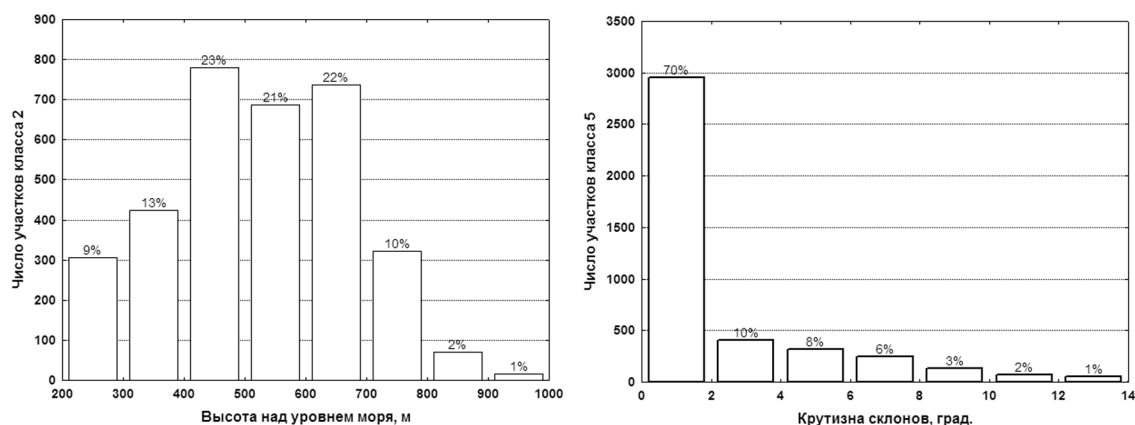


Рис. 9. Распределение выгоревших участков по высоте над уровнем моря (слева) и крутизне склонов (справа)

Характерным элементом рельефа модельной территории являются межгорные впадины на высоте 500–700 м, а высотные отметки в долинах низовьев рек составляют 200–400 м. В этом поясе гор сосредоточено почти 90% участков лесного фонда, пострадавших от пожаров. Можно отметить, что участки 3–5-го классов расположены на большей высоте по сравнению с выгоревшими участками 2-го класса, что объясняется формированием разных типов фитоценозов и в целом снижением запасов растительных горючих материалов с поднятием в горы в пояс лишайниковых типов леса и горной тундры. Абсолютное большинство участков, пройденных пожарами, располагается на пологих склонах крутизной до 2–5°, хотя наблюдается последовательное увеличение уклонов выгоревших участков, сгруппированных в 3–5-м классах.

Для модельной территории показательно распределение выгоревших лесных участков на склонах разной экспозиции относительно стран света. Пример распределения выгоревших участков 2-го класса приведен на рис. 10.

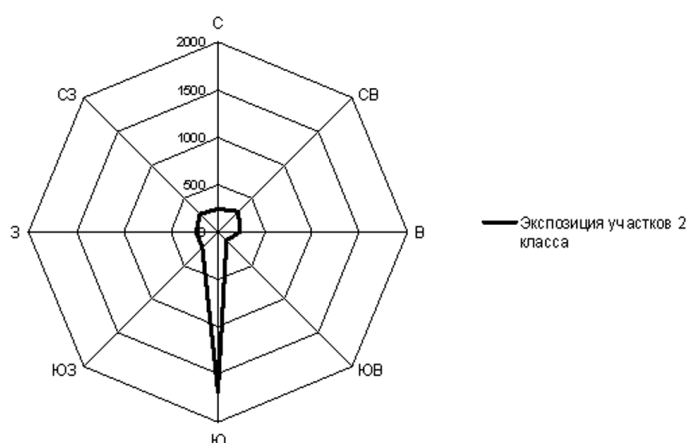


Рис. 10. Распределение выгоревших участков на склонах разной экспозиции

Известно, что трансформация условий увлажнения и высыхания основных проводников горения связаны, в первую очередь, с поступлением солнечной радиации на склоны южных экспозиций. Именно пирологическая характеристика южных склонов влияет, по выражению

проф. Н.П. Курбатского, на «пожарное созревание» участков лесного фонда, что способствует возникновению пожаров по условиям погоды (Волокитина, Софронов, 2002).

Лесоводственный анализ приобретает большую ясность, если степень огневого воздействия на растительность будет соотнесена с видами (верховой, низовой) и силой действия пожаров, которая зависит, в основном, от скорости распространения огня.

Последствия интенсивного горения (класс 2, отчасти классы 3–4) обычно ассоциируются с верховыми (повальными) пожарами и наличием значительного сгорающего запаса горючих материалов. Характерной особенностью северо-восточных лесных районов является наличие обильного подлеска из пожароопасных видов растительности (густые заросли багульника, кедрового стланика, ерника), которые отличаются быстрым распространением огня и переходом низовых пожаров в верховые.

Последствия умеренного и слабого горения (отчасти классы 3–4, класс 5) возникают под воздействием низовых пожаров средней и слабой интенсивности, которые характеризуются распространением огня по напочвенному покрову, горят также подрост, подлесок и кора в нижней части древесных стволов. Немаловажное значение на распространение огня имеет равномерность и непрерывность распределения растительных горючих материалов. На фрагментах космических снимков (рис. 11) можно наблюдать факт возникновения, непосредственного горения растительности на одной и той же территории в разные годы и последствия пожаров.

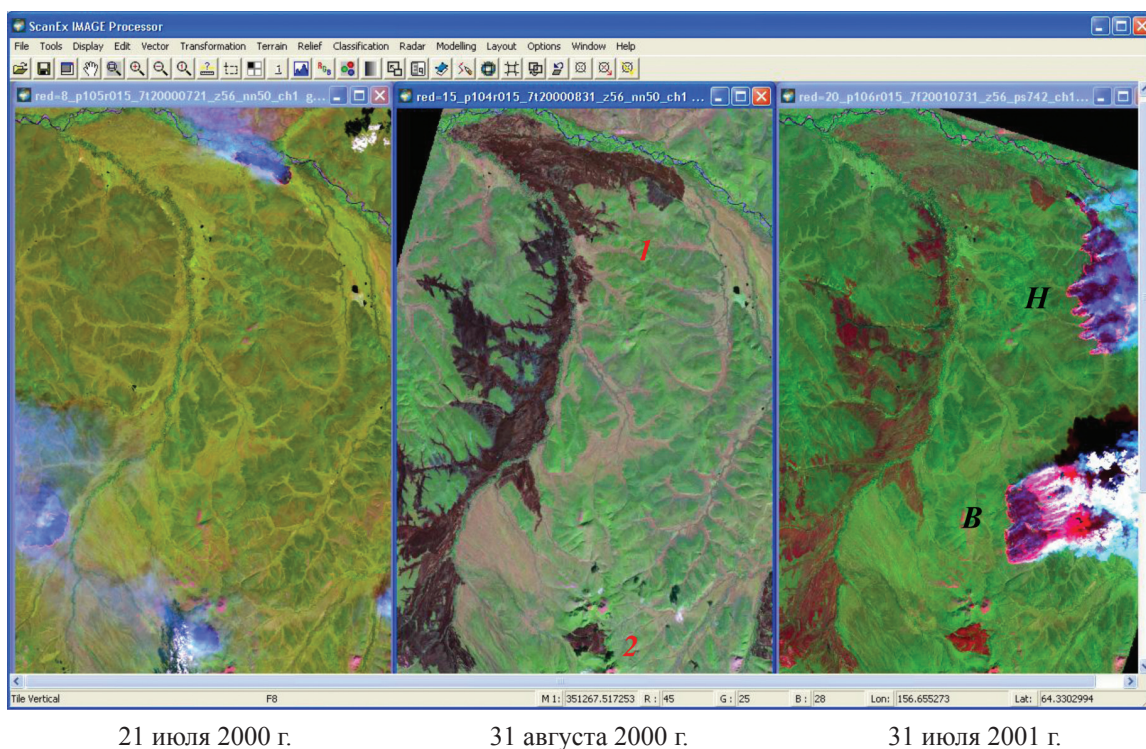


Рис. 11. Горение растительности на одной и той же территории в разные годы на космических снимках ETM+ / Landsat 7

На левом снимке регистрируются начальные очаги природных пожаров (июль 2000 г.), которые к концу августа (средний снимок) охватили достаточно значительную площадь. Через год облик двух (1 и 2 на рис. 11) пожарищ 2000 г. (правый снимок) существенно видоизменился, так как продукты горения были смыты осенними и зимними осадками.

В 2001 г. возникли новые очаги возгорания растительности. Предполагается, что пожарище, обозначенное на снимке 31 июля 2001 буквой *H*, возникло незадолго до проведения космической съемки и находилось в режиме тления, а после усиления ветра распространилось пламенное горение остаточных горючих материалов, которое по интенсивности огневого воздействия напоминает низовой пожар. Действующий пожар, обозначенный буквой *B*, может быть классифицирован как сильный верховой, возможно, повальный пожар.

Структура выгоревших участков

Как упоминалось выше, лесной фонд северо-восточных районов Сибири и Дальнего Востока отличается мозаичным распределением земель, на которых осуществляется деятельность не только лесного, но и смежных отраслей народного хозяйства (сельского, охотничьего и др.). И хотя стихийное распространение огня в лесном фонде затрагивает различные земли, в структуре выгоревших участков разных классов обнаруживаются характерные особенности. Используя совмещенную базу таксационных данных лесоинвентаризации и цифровую лесную карту категорий земель, а также карту последствий огневого воздействия на растительность (рис. 12), достаточно просто определить структуру затронутых пожаром земель лесного фонда (табл. 2).

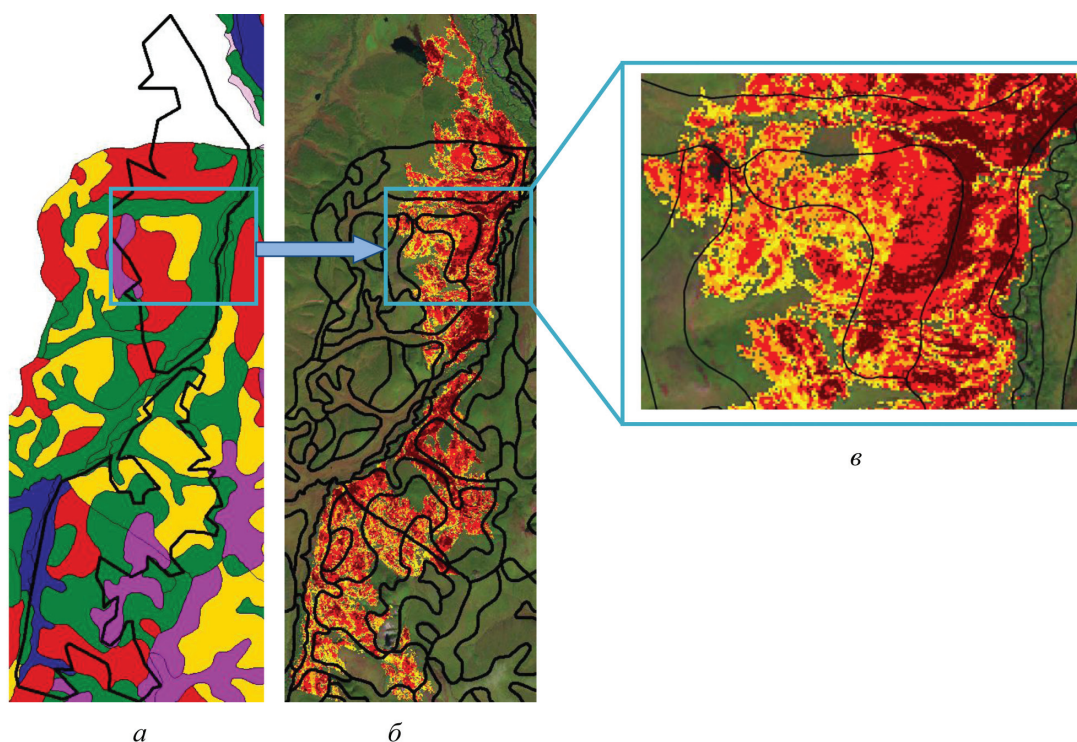


Рис. 12. Последовательность определения структуры затронутых пожаром земель лесного фонда

Общая площадь выгоревших участков составила чуть более 10 тыс. га. Среди категорий земель, пострадавших от пожара, наряду с насаждениями (40,7%) и естественными рединами (16,7%), под воздействием огня оказались повторно гари прошлых лет разной давности (29,8%), а также горные тундры (9,3%), мари (3,1%) и гольцы (0,4%).

Таблица 2. Распределение категорий земель лесного фонда, пострадавших от воздействия пожаров

<i>Класс выгоревших участков</i>	<i>Площадь выгоревших участков на модельной территории (*)</i>	<i>В том числе, по категориям земель (*)</i>					
		<i>насаждения</i>	<i>естественные редины лиственницы</i>	<i>гари прошлых лет</i>	<i>горные тундры</i>	<i>мари</i>	<i>гольцы</i>
2	$\frac{2543,4}{100}$	$\frac{1215,9}{47,8}$	$\frac{648,0}{25,5}$	$\frac{489,2}{19,2}$	$\frac{125,2}{4,9}$	$\frac{60,2}{2,4}$	$\frac{4,9}{0,2}$
3	$\frac{3188,3}{100}$	$\frac{1305,2}{40,9}$	$\frac{591,5}{18,7}$	$\frac{1040,2}{32,6}$	$\frac{153,7}{4,8}$	$\frac{84,2}{2,6}$	$\frac{13,5}{0,4}$
4	$\frac{2867,5}{100}$	$\frac{1090,5}{38,0}$	$\frac{377,4}{13,3}$	$\frac{938,9}{32,7}$	$\frac{328,6}{11,4}$	$\frac{115,9}{4,0}$	$\frac{16,2}{0,6}$
5	$\frac{1404,8}{100}$	$\frac{460,6}{32,8}$	$\frac{54,5}{4,0}$	$\frac{512,8}{36,5}$	$\frac{318,3}{22,6}$	$\frac{51,0}{3,6}$	$\frac{7,6}{0,5}$
<i>Всего</i>	$\frac{10004,0}{100}$	$\frac{4072,2}{40,7}$	$\frac{1671,4}{16,7}$	$\frac{2981,1}{29,8}$	$\frac{925,8}{9,3}$	$\frac{311,3}{3,1}$	$\frac{42,2}{0,4}$

(*) В числителе – га, в знаменателе – %.

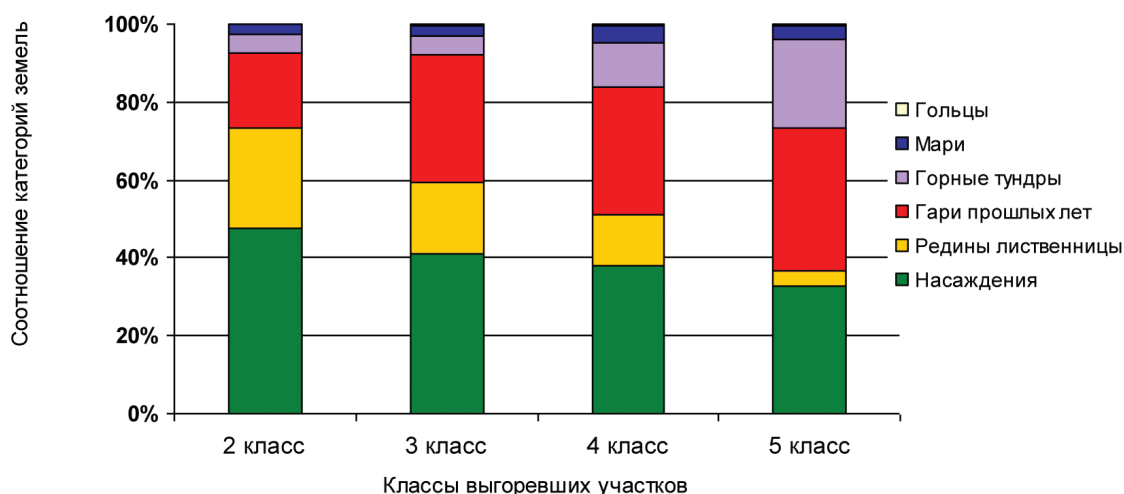
На фрагменте *а* (рис. 12) показано совмещение контура пожарища с лесной картой категорий земель модельной территории, на фрагменте *б* можно видеть результат классификации космического изображения выгоревших участков по четырем классам и их совмещение (фрагмент *в*) с картой категорий земель. Природные пожары затрагивают как лесные (насаждения разных пород, естественные редины лиственницы и зарастающие гари прошлых лет), так и нелесные земли (горные тундры, мари, гольцы) лесного фонда, доля участия которых заметно различается в классах выгоревших участков.

Наглядно соотношение площадей пострадавших от пожара категорий земель показано на диаграмме (рис. 13).

Класс 2 до пожара на три четверти состоял из насаждений разных пород и редин лиственницы, в классе 3 их доля снизилась до 60%, в классе 4 – несколько превысила 50%, в классе 5 особенно сильно сократилось участие редин, а доля насаждений не превышала трети в структуре земель выгоревших участков.

Площадь гарей прошлых лет увеличивалась от 2-го к 5-му классам выгоревших участков. При этом структура площади старых гарей по давности прохождения пожаров в классах выгоревших участков растительности была следующей (в %):

Годы пожаров	2-й класс	3-й класс	4-й класс	5-й класс
1985–1986 гг.	52	52	34	26
1988–1990 гг.	46	44	61	67
1992 г.	2	4	5	7



Надземная фитомасса, <i>т/га</i>	12,8	12,3	12,1	9,7
Полнота лиственничников	0,50	0,49	0,48	0,47
Высота над уровнем моря, <i>м</i>	468,4	499,4	540,3	608,8
Крутизна склонов, <i>град</i>	2,8	3,6	4,5	5,4
Экспозиция склонов, (<i>град</i>)	ЮЗ (211,7)	Ю (193,0)	ЮЗ (204,3)	Ю (185,3)

Рис. 13. Соотношение пострадавших от пожара категорий земель

Площади старых гарей 1985–1986 гг. преобладают во 2-м и 3-м классах, но сокращаются в 4-м и 5-м. На долю гарей 1988–1990 гг. во 2-м и 3-м классах приходится 44–46% общей площади, а в 4-м и 5-м классах доля площадей, повторно пострадавших от пожара, существенно выше и составляет 61–67%. Гари 1992 г. незначительно влияют на баланс площадей, их участие наиболее заметно в 5-м классе выгоревших участков растительности. Вполне естественно предположение, что на гарях большей давности запас горючих материалов, обеспечивающих интенсивность огневого воздействия, выше, чем на гарях, возникших в более поздние сроки. Участки горной тундры равномерно распределены во 2-м и 3-м классах, однако их доля существенно возрастает в 4-м и 5-м классах. Мари и гольцы не имеют широкого представительства в классах выгоревших участков.

Хотя приведенные категории земель как объекты горения представляют собой структурные комплексы из разнообразных горючих материалов, их потенциальная горимость может быть оценена с помощью универсального показателя – запаса надземной фитомассы (Замолотчиков и др, 2003; Таблицы и модели роста..., 2006, Игнатенко и др., 1976; Хлыновская и др., 1988; Углерод в экосистемах лесов и болот России, 1994). На рис. 13 приведены средневзвешенные значения запасов фитомассы, которая была накоплена на выгоревших участках до пожара. Снижение интенсивности огневого воздействия на растительность сгруппированных по классам выгоревших участков согласуется с убыванием значений запасов фитомассы. Аналогичным образом тенденция снижения интенсивности огневого воздействия связана с уменьшением средней полноты насаждений лиственницы до пожара.

Характеристики орографии местности указывают на то, что классы выгоревших участков отличаются разными средними значениями ВНУМ; с поднятием в горы наблюдается тенденция к увеличению крутизны склонов пожарищ, а их экспозиция сохраняет в основном юго-западную ориентацию склонов.

Определенный лесоводственный интерес представляет распределение насаждений по преобладающим породам (до пожара), среди которых следует выделить лиственницу, ерник и кедровый стланик (рис. 14). Видно, что доля насаждений лиственницы в классах выгоревших участков относительно невелика (7–14%), а участие насаждений других пород имеет однонаправленный характер изменений: от 2-го класса к 5-му классу сокращаются площади ерниковых зарослей (с 63 до 14%) и, наоборот, возрастают площади насаждений кедрового стланика (с 28 до 79%). Хвоя кедрового стланика служит горючим материалом при самых опасных верховых пожарах.

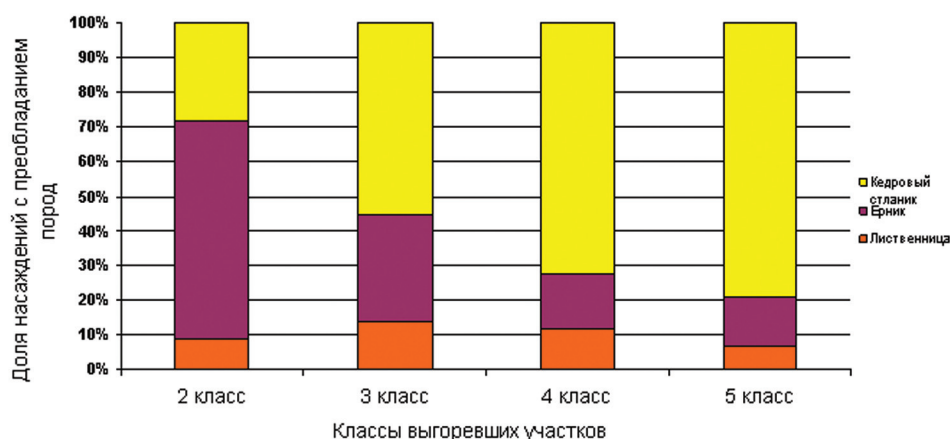


Рис. 14. Соотношение преобладающих пород в насаждениях до пожара, сгруппированных по классам выгоревших участков

Многими исследователями подмечено, что пожары способствуют однообразию северо-восточных лесов. Поэтому зачастую типы леса под влиянием прошедших палов утрачивают первоначальные различия. На рис. 15 приведены данные о распределении типов леса лесных земель до пожара 2000 г.

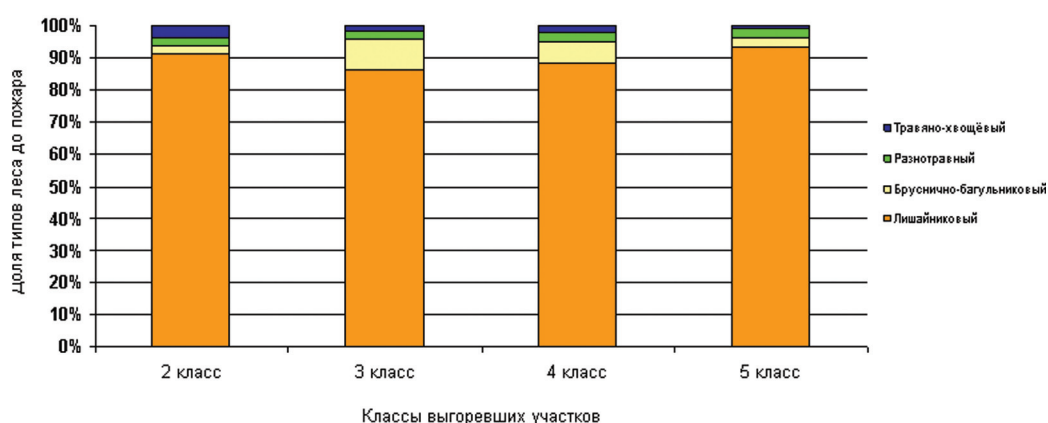


Рис. 15. Распределение по типам леса лесных земель

Видно, что огневому воздействию подверглись лесные земли в основном лишайникового и в меньшей степени бруснично-багульникового типов леса. Лесные земли разнотравного и травяно-хвощевого типов леса пострадали, скорее всего, оттого, что находились в непосредственной близости к фронту пожара.

Экстраполяция выборочных данных, полученных на примере локального пожарища в лесном массиве модельной территории, на всю выгоревшую площадь, позволяет дать приближенную оценку последствий природных пожаров 2000 г. (табл. 3).

Таблица 3. Приближенная оценка последствий природных пожаров

Класс выгоревших участков	Площадь выгоревших участков, тыс. га	Надземная фитомасса до пожара, тыс. т	В том числе по категориям земель, тыс. га								
			насаждения*				естественные редины Л	гари прошлых лет	горные тундры	мари	гольцы
			всего	Л	Ерн	Кст					
2	59,9	766,7	28,6	2,5	18,0	8,1	15,3	11,5	2,9	1,4	0,2
3	53,2	654,4	21,8	3,0	6,8	12,0	9,9	17,3	2,5	1,4	0,3
4	43,3	523,9	16,4	1,9	2,6	11,9	5,8	14,2	4,9	1,7	0,3
5	17,9	173,6	5,9	0,4	0,8	4,7	0,7	6,5	4,0	0,6	0,2
Всего	174,3	2118,6	72,7	7,8	28,2	36,7	31,7	49,5	14,3	5,1	1,0

* Обозначение лесообразующих пород: *Л* – лиственница, *Ерн* – ерник, *Кст* – кедровый стланик

Как видно из табл. 3, общая площадь выгоревших участков, представленных на сцене космического снимка ETM+ / Landsat 7, составила 174,3 тыс. га. В той или иной степени от пожаров пострадали насаждения разных пород (72,7 тыс. га), естественные редины лиственницы (31,7 тыс. га), зарастающие гари прошлых лет (49,5 тыс. га), а также растительность горных тундр (14,3 тыс. га), марей и гольцов (6,1 тыс. га). Насаждения и редины составили суммарно около 60% общей выгоревшей площади, а, соответственно, лесные земли составили 88%.

Пострадавшие насаждения лиственницы следует рассматривать совместно с естественными рединой (39,5 тыс. га), так как они образуют одну лесную экосистему, которая в балансе выгоревших участков составила 22,7% общей площади. Гибель зарослей ерника на площади 28,2 тыс. га совместно с растительностью зарастающих гарей разной давности (49,5 тыс. га) понижает лесовосстановительный потенциал лиственничной экосистемы. Кроме того, в данном случае примерно 28% старых гарей 10–15-летней давности повторно выгорают и, по сути, более не участвуют в лесообразовательном процессе.

Гибель зарослей кедрового стланика (36,7 тыс. га), которые всегда являются ареной действия верховых пожаров, приводит к сокращению кормовой базы для пушного зверя и снижению уровня промысловой охоты. Снижению кормовой базы оленеводства способствует также выгорание растительности на участках горной тундры (14,3 тыс. га).

После верхового пожара (класс выгоревших участков 2) все участки насаждений включаются в категорию земель «гарь». Заросли ерника и кедрового стланика гибнут

также после устойчивых низовых пожаров (классы выгоревших участков 3–5). Насаждения лиственницы относят к гарям, если они представлены молодняками или если в результате огневого воздействия от низовых пожаров полнота древостоев снижается до 0,2 и менее. С этой целью из базы таксационных данных производят выборку насаждений с полнотой 0,3, в которых после низовых пожаров произойдет гибель части деревьев и в результате чего полнота древостоев непременно снизится ниже порогового значения 0,2. Оставшиеся в пределах границ пожарища древостои лиственницы с полнотой 0,4 и выше образуют объекты последующего слежения за состоянием насаждения в течение 1 года – 2 лет с целью определения объема отмершей древесины. Ожидаемые потери древесины в лиственничниках после устойчивых низовых пожаров сильной интенсивности (класс 3) составляют до 55%, после пожаров средней интенсивности (класс 4) – 30%, слабой интенсивности (класс 5) – 20%.

С этой целью средствами ГИС на контуры пожарищ наносят на карты сначала границы категорий земель, а затем преобладающих пород, после чего из контура пожарища исключают участки нелесных и не покрытых лесной растительностью земель. Оставшаяся часть покрытых лесом земель и естественных редин целиком относится к гарям, если вся площадь была пройдена *верховыми пожарами*. В случае повреждения лесов устойчивыми *низовыми пожарами* к гарям относятся площади молодняков, заросли кедрового стланика, ерника, а также расстроенные от огневых повреждений насаждения других возрастов с полнотой менее 0,3. Привлекая в дальнейшем карту распределения типов леса в сочетании с данными базы таксационной информации, определяется тенденция лесовозобновления на гарях и составляется прогноз послепожарной восстановительной динамики лесов.

До прошедших природных пожаров на выгоревших участках было накоплено более 2,1 млн. т надземной фитомассы. Вполне очевидно, что большая ее часть при пожарах поступила в виде эмиссии углерода в атмосферу.

Заключение

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что характерной особенностью отдаленных северо-восточных лесных районов Сибири и Дальнего Востока является мозаичная структура земель лесного фонда. В подобных условиях материалы космической съемки оказываются одним из немногих источников объективной информации о пирологической характеристике участков лесной растительности.

Сочетание неконтролируемой кластеризации и управляемой классификации космических изображений участков земель лесного фонда, выгоревших при природных пожарах 2000 г., позволило выделить несколько классов, различающихся по степени почернения, что связано с лесоводственными представлениями об интенсивности огневого воздействия на растительность различных категорий земель лесного фонда. Средняя площадь участков растительности после интенсивного огневого воздействия более чем в четыре раза превышает размер участков, пострадавших при слабом горении

растительности. Успешность классификации определяется уровнем профессиональной подготовки специалистов по обработке космической информации, обладающих лесоводственными знаниями.

Структура выгоревших участков исследована с помощью данных фотостатистической лесоинвентаризации, проведенной за год до прохождения пожаров. Установлена связь интенсивности огневого воздействия на растительность с распределением категорий земель, преобладанием лесообразующих пород в пострадавших насаждениях, распространением типов леса лесных земель, орографическими характеристиками местности.

Приведена приближенная оценка последствий природных пожаров 2000 г. путем экстраполяции выборочных данных, полученных на примере локального пожарища в лесном массиве модельной территории, на все участки выгоревшей площади, представленных на сцене космического снимка ETM+ / Landsat 7.

Литература

1. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
2. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесообразующих пород России. Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: Сиб. Гос. Технол. Университет. 2003. Вып. 1 (32). С. 119–127.
3. Игнатенко И.В., Котляров И.И., Нестеренко А.И., Пугачев А.А. Биология и продуктивность растительного покрова Северо-Востока, Владивосток, ДВНЦ АН СССР, ИБПС, 1976. С. 138–157.
4. Поздняков Л.К. Леса верхнего течения Яны // Материалы о лесах Якутии: Труды института биологии. Вып. VII. М.: Изд-во АН СССР, Якутский филиал СО АН СССР. 1961. С. 161–242.
5. Хлыновская Н.И., Нестеренко А.И., Подковыркина Н.Е. Проблемы изучения и охраны ландшафтов Северо-Востока СССР, Владивосток, 1988, С. 8–27.
6. Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве / Е.П. Данюлис, В.М. Жирин, В.И. Сухих, Р.И. Эльман. М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.
7. Растительный покров СССР. Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР» / Под ред. Е.М. Лавренко и В.Б. Сочавы. Т. I. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1956. 460 с.
8. Таблицы и модели роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М.: МПР РФ, Рослесхоз, Международный ин-т прикладного системного анализа, 2006. 803 с.
9. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси. Красноярск: ТОО «Экос». 1994. 197 с.

Silvicultural analysis of the fires effects on the base of space images

Vasily M. Zhirin, Svetlana P. Eydlina, Svetlana V. Knyazeva

Centre of Forest Ecology and Productivity Problems RAS, Moscow, Russia

E-mail: vmzh@smtp.ru

The modern state of the farther north-eastern Siberia and the Far East forests (where aerial observation is not carried out at all or is only occasionally) is in dependence from frequent natural fires. In addition the characteristic feature of this area is a mosaic structure of forest lands. In these conditions the space materials are the main sources of objective information on the inflammability characteristic of forest vegetation sites. The dependence of natural fires (2000 year) consequences with distribution of lands categories, a predominance of forest species, forest types and orographic characteristics of terrain is established as a result of researches on the base of space image ETM+ / Landsat 7.

Keywords: natural fires, space images, classes of burned areas, image classification.