

Оценка повреждений лесов сибирским шелкопрядом в Центральной Якутии по данным спектрорадиометра MODIS-TERRA

Н.В. Девятова¹, Д.В. Ершов¹, Н.И. Лямцев¹, Б.С. Денисов²

¹*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: natasha@ifi.rssi.ru, ershov@ifi.rssi.ru*

²*Российский центр защиты леса
141202 Московская область, г. Пушкино-2, Институтская ул., 1
E-mail: rcfh@aha.ru*

В работе представлены результаты исследований по оценке состояния и динамике лесов, поврежденных насекомыми-вредителями, в центральной Якутии (бассейны рек Лена и Алдан) с 2001 по 2004 гг. с использованием изображений MODIS-TERRA среднего пространственного разрешения и данных наземного обследования.

Введение

Сибирский шелкопряд (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschtv.) – наиболее опасный вредитель хвойных лесов Сибири и Дальнего Востока. Циклично повторяющиеся вспышки массового размножения этого вида приводят к значительным изменениям структуры таежных лесов, разрушению древостоев и смене лесных формаций. Очаги массового размножения отмечаются ежегодно на площади от 4,2 тысяч до 6,9 миллиона га (в среднем 0,8 миллиона га) и наносят существенный урон лесному хозяйству. Поэтому спутниковый мониторинг как часть энтомологического мониторинга лесов является важным элементом контроля состояния лесного покрова, обеспечивающий при надлежащем исполнении сохранение важнейших ресурсно-экологических функций лесов.

В рамках представленной научной работы проводилось изучение состояния и изменения лесов по данным спектрорадиометра MODIS и наземного наблюдения для выявления очагов массового размножения сибирского шелкопряда и определения степени повреждения лесных насаждений.

В качестве региона наблюдения и оценки состояния лесов выбрана Центральная Якутия (130° В.Д. - 135° В.Д.; 60° С.Ш. - 64° С.Ш.), где на протяжении последних лет наблюдается усыхание лесов, вызванное массовым размножением сибирского шелкопряда. Регион в основном представлен светлохвойными насаждениями с различной структурой и пространственным размещением древостоев [1].

Характеристика экспериментальных данных

Результаты обработки спутниковых изображений MODIS

Детектирование погибших от насекомых лесов производилось с использованием набора производных продуктов – 16-дневных композитных изображений MODIS за период наблюдения с 25 мая по 12 августа 2001, 2002, 2003 и 2004 г.

Первоначально осуществлялась предварительная обработка данных MODIS для улучшения качества композитных изображений [1].

В дальнейшем, проводилась тематическая обработка, основанная на анализе временных серий спутниковых изображений MODIS разных лет с целью выявления изменений в состоянии растительности, вызванных массовым размножением насекомых-вредителей.



а) наземное обследование



б) авиационное обследование

Рис. 2. Повреждения обнаруженные при наземном и авиационном обследовании лесов Якутии

В период с 2001 по 2002 гг. в этом регионе наблюдались очаги массового размножения сибирского шелкопряда площадью около 300 тыс. га. Сильное повреждение лиственницы в течение двух сезонов подряд привело к существенному ослаблению насаждений на большой территории и усыханию отдельных

древостоев. Усохшие в результате объедания хвои сибирским шелкопрядом насаждения встречаются наиболее часто вокруг поселков, аласных лугов и по вершинам водоразделов и занимают площадь от гектара до тысячи гектар.

При осмотре насаждений в результате детального наземного обследования (рис. 2а) и с воздуха (рис. 2б) отмечено, что практически по всему маршруту в верхнем ярусе лиственничников (древостои VIII - IX классов возраста, III – IV бонитета, высотой 19 – 23 м и диаметром на высоте груди 24 – 28 см, полнотой 0,5 – 0,7) преобладают ослабленные и сильно ослабленные деревья, а в очагах усыхания - старый сухостой. Это является следствием дефолиации насаждений сибирским шелкопрядом в 2001 – 2002 гг. и повреждением хвои чехлоноской в 2003 и 2004 гг. Второй ярус, представленный насаждениями лиственницы V – VI классов возраста, и подрост лиственницы признаков ослабления по габитусу крон не имеют. Объедания лиственницы сибирским шелкопрядом в 2004 г. по всему маршруту обследования не наблюдалось. При анализе моделей и учете численности хвоегрызущих вредителей шелкопряд встречался единично.

Лиственничная чехлоноска даурская (*Coleophora dahurica* Flkv.) восточно-палеарктический вид, распространен в Азиатской России от Енисея до Сахалина. В районе обследования (Центральная Якутия) для чехлоноски свойственно образование очагов размножения двух типов. Хронические, постоянно действующие очаги лиственничной чехлоноски формируются на участках с ухудшенными лесорастительными условиями и обычно занимают небольшие площади. Деревья повреждаются, как в слабой, так и сильной степени, но усыхания не происходит. Такие очаги отмечены нами вблизи населенных пунктов, вокруг аласных лугов и вдоль дорог. Незначительные повреждения и очаги второго типа (скоротечные), которые действуют, как правило, в течение одного сезона, отмечены нами на площади более 100 тыс. га в междуречье рек Лены и Амги. По данным ФГУ «Рослесозащита» на конец 2004 г. в Республике Саха (Якутия) действовали только очаги лиственничной чехлоноски на площади 118 217 га [5].

Выбор тестовых площадок для проведения сравнительного анализа спутниковых измерений и наземных оценок категории состояния древостоев осуществлялся в границах таксационных выделов с учетом доступности территории наблюдения, а также при возможности получения наибольшего разнообразия состояния древесной растительности. В результате были сделаны визуальные обследования в 28 выделах, а также заложены 4 участка размером от 4 до 22 га. На каждой пробной площади проводилась географическая привязка территории, глазомерная оценка таксационных характеристик и определение состояния всех деревьев по степени дехромации хвои, дефолиации кроны и количества сухих сучьев в кроне, а также учет состояния вершины, ствола дерева (живой, поврежденный, усыхающий и сухой). Визуальная оценка каждого дерева в насаждении по комплексу вышеуказанных параметров позволила получить распределение деревьев по категориям состояния: 1 категория — здоровые (без признаков ослабления), 2 — ослабленные, 3 — сильно ослабленные, 4 — усыхающие, 5 — свежий сухостой, 6 — старый сухостой. Два последних класса рассматривали в дальнейшем как один, т.к. достаточно сложно распознать их на одиночных спутниковых изображениях полученных в один вегетационный сезон.

По данным наземных наблюдений была сформирована ведомость лесопатологических выделов с распределением деревьев по категориям состояния, фрагмент которой приведен в табл. 1.

Методика подготовки и сравнительного анализа экспериментальных данных

Для каждого выдела (полигона), где закладывались пробные площадки, проводился расчет средневзвешенной категории состояния $\bar{K}$ с учетом количества деревьев в каждой категории состояния.

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

где K_i – категория состояния (использовалось среднее значение в процентном интервале каждой из пяти категорий в сумме составляющие 100%);

S_i – доля деревьев в категории относительно общего количества деревьев на тестовом участке.

Табл. 1. Фрагмент ведомости лесопатологических выделов с географической привязкой, взятых в насаждениях Таттинского лесхоза Республики Саха (Якутия) 21-25 августа 2004 г.

№№ л/п. выделов	Географические координаты (широта, долгота); высота над у.м., м	Таксац. характеристика (глазом оценка)	Лесничество	Квар-тал	Распределение деревьев по категориям состояния, %						Примечание
					здоровы	ослабленные	сильно ослабле	усыхающие	свежий	старый	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	62° 21,714' 133° 31,078'; 174 м	10Л; VII; II; Лртр.;	Таттинское	247	ед.	ед.	ед.	-	-	100	Шелкопряжник 2002 г.
2.	62° 28,579' 133° 35,596'; 183 м	10Л; VII; III; Лбр.; 0, 6; 17/20	Таттинское	93	10	40	15			35	Повреждение чехлоносной в слабой степени; старый сухостой
3.	62° 28,659' 133° 35,755'; 185 м	10Л; V; IV ;	Таттинское	93	-	-	-	-	-	100	Шелкопряжник 2002 г.
4.	62° 28,801' 133° 36,110'; 186 м	10Л; VII; II; Лбр.; 0, 7;	Таттинское	93	10	20	30			40	Околот: Л 15/16: 1 гусеница IV возраста сибирского шелкопряда; повреждение
5.	62° 31,169' 133° 38,075'; 179 м	10Л; VII; II; Лбр.; 0, 8; 18/20	Алексеевское	733	40	40	20			ед.	Околот: Л 16/16: вредные насекомые не обнаружены; повреждение чехлоносной в слабой степени

Географические координаты тестовых выделов использовались для формирования спектральных сигнатур индекса NDBI за 2004 год (год наземных наблюдений) (табл. 2).

Анализ средних значений индекса, полученный в разные интервалы времени (из которых формировались 16-дневные композитные изображения), показал, что первые два периода времени значительно отличаются от всех остальных измерений. Вероятно, это связано с влиянием фенологии растительного покрова в этом регионе в период с 25 мая по 25 июня (рис. 3).

Поэтому для дальнейшего исследования зависимости индекса NDBI от средневзвешенной категории состояния деревьев используются спутниковые данные в период стабильного состояния растительности.

С помощью уравнений регрессии были получены коэффициенты для каждого из трех временных интервалов с 26 июня по 12 августа. Корреляционный анализ позволил оценить степень взаимосвязи индекса и средневзвешенной категории состояния деревьев. Наилучший коэффициент корреляции из всех

измерений для 16-дневной мозаики получен в период с 12 по 27 июля. График полученного уравнения регрессии приводится на рис. 4.

Табл. 2. Средние значения индекса NDBI на тестовых площадках

№ выдела (полигона)	Средневзвешенная категория состояния деревьев	Индекс NDBI за 2004 год				
		25.05.-09.06.	10.06.-25.06.	26.06.-11.07.	12.07.-27.07.	28.07.-12.08.
1	2	3	4	5	6	7
6	30,5	0,163	0,163	0,534	0,550	0,571
9	30,5	0,368	0,368	0,660	0,630	0,701
24	32	0,436	0,436	0,564	0,592	0,569
10	39,5	0,237	0,237	0,538	0,547	0,563
1	90	0,382	0,382	0,478	0,473	0,414
7	90	0,105	0,105	0,477	0,466	0,384
8	90	0,298	0,298	0,389	0,337	0,402
22	90	0,333	0,333	0,490	0,418	0,477
26	90	0,173	0,284	0,508	0,439	0,445
p4	27,5	0,350	0,350	0,644	0,687	0,498
p3	34,5	0,338	0,338	0,647	0,659	0,537
p1	90	0,328	0,327	0,418	0,378	0,410
p2	90	0,332	0,285	0,511	0,427	0,468

Табл. 3. Оценка площадей насаждений, поврежденных сибирским шелкопрядом, по спутниковым данным

Год наблюдения	Распределение площадей по категориям состояния, %					Всего
	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	усыхающие	сухостой	
	< 10%	11-40%	41-60%	61-80%	> 81%	
1	2	3	4	5	6	7
2002 г.	14	7 075	33 179	23 285	18 926	82 479 га
2003 г.	322	73 755	189 742	79 907	37 323	381 049 га
2004 г.	37	751	4 770	17 041	22 486	45 085 га
Всего	373 га	81 581 га	227 691 га	120 233 га	78 735 га	508 613 га

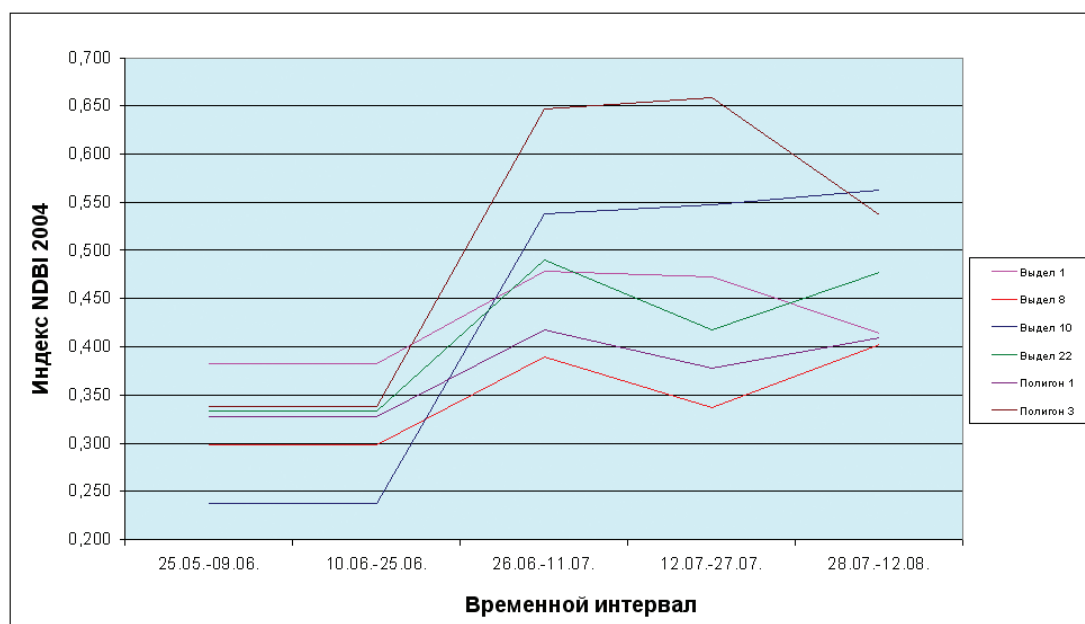


Рис. 3. Распределение индекса NDBI в период с 25 мая по 12 августа

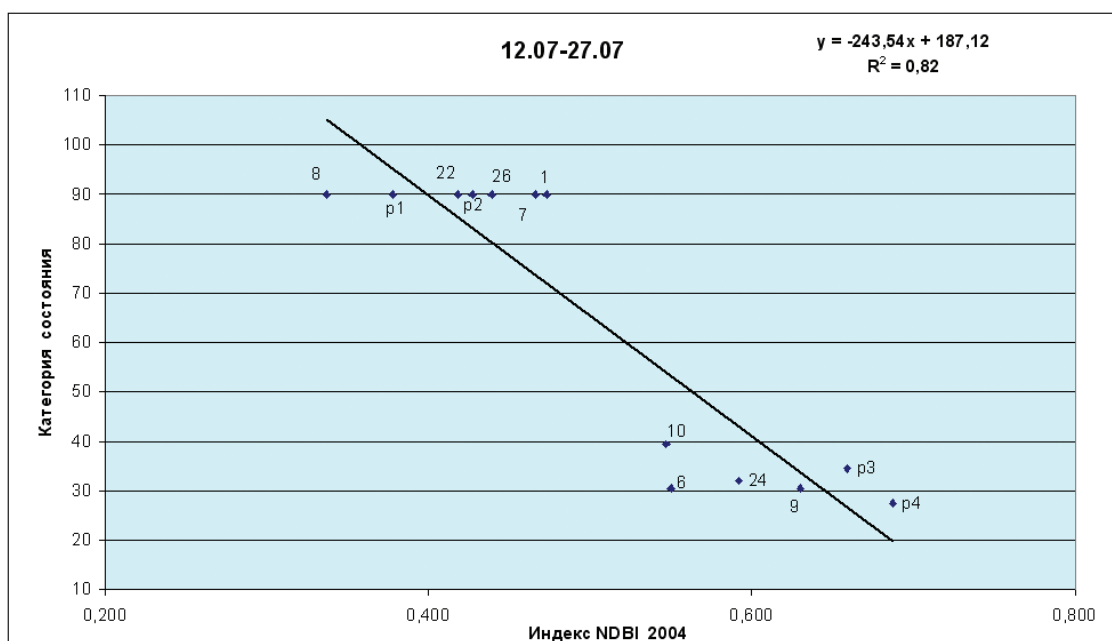


Рис. 4. Зависимость категории состояния насаждения от индекса NDBI

Оценка степени повреждения лесов по данным спутниковых и наземных наблюдений

Используя уравнение регрессии с максимальным коэффициентом корреляции, значения индекса NDBI были пересчитаны в значения средневзвешенной категории состояния древесной растительности. Это позволило оценить состояние лесов в местах очагов массового размножения насекомых, зафиксированных

в 2002, 2003 и 2004 гг. Для этого использовались границы очагов, выявленные по разновременным изображениям методом [1].

Окончательно значения средневзвешенной категории состояния деревьев в насаждении были распределены на пять классов состояния по следующим градациям: 1) 0-10% - здоровые; 2) 11-40% - ослабленные; 3) 41-60% - сильно ослабленные; 4) 61-80% - усыхающие; 5) 81-100% - свежий и старый сухостой.

В итоге по спутниковым данным общая площадь территории лесов, поврежденных насекомыми, в лиственных лесах Центральной Якутии в 2002 г. составила 82 479 га, в 2003 г. – 381 049 га, в 2004 г. – 45 085 га. Распределение площадей повреждений лесов по категориям состояния приводится в таблице 3. Как видно из таблицы, в 2002 году большая часть повреждений сосредоточена в категориях «сильно ослабленные» (40,2%), «усыхающие» (28,2%) и «усохшие или сухостой» (22,9%). Максимум повреждений по площади приходится на 2003 год, с распределением повреждений в основном на средние категории состояния: «ослабленные» (19,3%), «сильно ослабленные» (49,8%) и «усыхающие» (20,9%). Несмотря на то, что в целом общая площадь поврежденных лесов тестового региона в 2004 году оказалась минимальная по сравнению с предыдущими годами, однако большая часть древостоев была повреждена в сильной степени и по-видимому многократно, что отразилось на их состоянии – «усыхающие» древостои (37,8%) и «сухостой» (49,8%).

Таким образом, за три года было выявлено, что 44,8% лесов тестового региона находятся в сильно ослабленном состоянии, а 39,1% насаждений усыхают и переходят в сухостой. Полученные результаты, несмотря на то, что требуют дополнительной проверки, демонстрируют с одной стороны возможности спутниковых систем, а с другой дают возможность оценить масштабы ущерба от насекомых-вредителей и определить первоочередные лесозащитные мероприятия. На рисунке 5 приводятся увеличенные фрагменты карт с пространственным распределением повреждений лесов по категориям состояния.

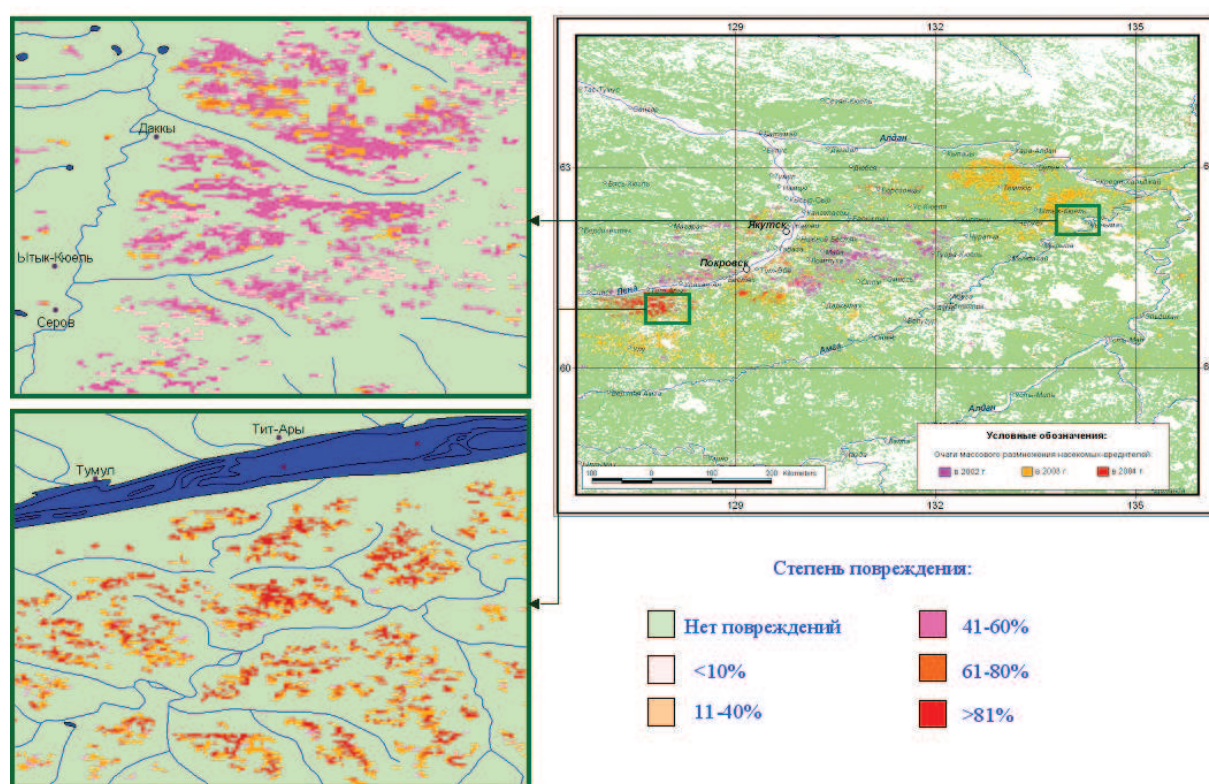


Рис. 5. Фрагменты карты состояния насаждений за 2003 и 2004 годы

Заключение

Ущерб лесному хозяйству от насекомых-вредителей и болезней леса в ряде случаев сопоставим с потерями от лесных пожаров. Повреждения насекомыми хвои и листвы приводят к ряду последовательных трансформаций лесных экосистем, часто оказывая серьезное влияние на их развитие и состояние.

В рамках приведенной работы был изучен вопрос возможности использования для лесопатологического мониторинга спутниковых данных среднего пространственного разрешения, полученных спектрорадиометром MODIS в оптическом диапазоне 0,6 – 2,1 мкм электромагнитного спектра.

На основе спутниковых данных MODIS и материалов наземного и авиационного наблюдения была установлена тесная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции 0,82) между вегетационными индексами (NDBI) и категориями состояния лесной растительности. Это позволило получить распределение по категориям состояния поврежденных насекомыми лиственных насаждений в центральной Якутии в период с 2002 по 2004 гг.

Результаты исследований показывают, что дистанционные методы позволяют проводить количественную оценку, как масштабов повреждения лесов, так и их состояния. Без их применения не возможно принятие оптимальных решений по защите лесов в труднодоступных условиях и при крупномасштабных вспышках массового размножения насекомых.

Литература

1. Девятова Н.В., Ершов Д.В. Съемка MODIS/TERRA в мониторинге вспышек массового размножения очагов насекомых-вредителей // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, том II, Москва, 2005, С. 262-266.
2. Егоров В.А., Барталев С.А. Анализ временных серий спутниковых данных SPOT-VEGETATION для мониторинга повреждений пожарами бореальных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, том II, Москва, 2005, С. 380-387.
3. Барталев С.А., Белвард А.С., Ершов Д.В. Новая карта типов земного покрова бореальных систем Евразии по данным SPOT 4-VEGETATION // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады 3-ей Всероссийской конференции, посвященной памяти Г.Г. Самойловича, Москва, 18-19 апреля 2002, С. 30-34.
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А. Синтез улучшенных сезонных изображений Северной Евразии для картографирования и мониторинга динамики растительности по данным SPOT-Vegetation // Всероссийская конференция "Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы" Иркутск, 2-6 июня 2003, С. 9.
5. Отчет о научно-исследовательской работе. Крупномасштабные процессы в бореальных лесах Евразии и прогноз их воздействия на состояние биосферы // ЦЭПЛ РАН, Москва, 2003, С. 107.