

СЪЕМКА MODIS/TERRA В МОНИТОРИНГЕ ВСПЫШЕК МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ОЧАГОВ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ

Н.В. Девятова, Д.В. Ершов

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Тел.: (095) 332-6877, E-mails: natasha@ifi.rssi.ru, ershov@ifi.rssi.ru

Работа посвящена актуальной проблеме энтомологического мониторинга состояния лесов с помощью аэрокосмических средств, одной из задач которых является создание автоматизированного метода детектирования и картирования пораженных лесных территорий в результате массового размножения насекомых-вредителей. В статье предложен алгоритм выявления очагов сибирского шелкопряда в лиственных лесах центральной Якутии на основе данных спектрорадиометра MODIS/TERRA. Сравнение полученных данных экспериментальных работ с данными съемки высокого пространственного разрешения позволило оценить возможности данного подхода для выявления очагов массового размножения насекомых-вредителей.

Введение

Филлофаги являются одной из важных в эколого-хозяйственном отношении группой лесных насекомых, влияющих на устойчивость и биоразнообразие наземных экосистем северной Евразии. В то же время они могут выступать как массовые вредители, вызывая полную дефолиацию и гибель древостоя на площадях в сотни тысяч и миллионы га. Повреждения, могут приводить к ряду последовательных и нежелательных изменений в структуре лесных биогеоценозов или даже смене типов их растительности на больших территориях.

Традиционные методы слежения за состоянием популяций насекомых-вредителей опираются преимущественно на наземные методы сбора информации и наблюдения. Развитие концепции лесоэнтомологического мониторинга обусловило разработку новой системы наблюдения за изменением структуры лесных биогеоценозов и уровнем численности насекомых [1].

Новым направлением развития системы является организация спутникового мониторинга размножения насекомых-вредителей, особенно в труднодоступных регионах Сибири и Дальнего Востока, а также разработка соответствующих методов и алгоритмов тематической обработки изображений.

В рамках этой научной работы проводилось изучение информативности данных спектрорадиометра MODIS для выявления очагов сибирского шелкопряда, позволившие определить спектральные диапазоны, чувствительные к изменениям в состоянии лесного покрова, а также разработаны соответствующие вегетационные индексы и подходы к выявлению очагов сибирского шелкопряда.

1. Спутниковый мониторинг состояния лесов в лесах центральной Якутии в период 2001-2004 гг.

1.1. Краткая характеристика лесорастительных условий региона наблюдения

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 и других насекомых-вредителей.

Регион в основном представлен светлохвойными насаждениями с различной структурой древостоев и пространственным размещением. Тестовый участок расположен на Центрально-якутской равнине, охватывающей долины рек Лена, Амга и Алдан в их нижнем и отчасти среднем течении и соответствующие междуречные равнины.

В составе лесного фонда преобладают бореальные виды растений. Господствующей породой является лиственница. Лиственные леса (81,9 % лесопокрытой площади) в наибольшей степени адаптированы к холодным и влажным мерзлотным почвам, к резко континентальному климату с суровой и продолжительной зимой. Сосновые леса (6,8 %) встречаются массивами на более легких, сухих песчаных почвах. Темнохвойные леса с участием сибирской ели, кедра и пихты занимают менее 1 % площади и встречаются на более богатых и влажных почвах. На долю лиственных лесов, в основном березовых, приходится немногим более 1 % общей площади. Большая часть березовых лесов являются вторичными, временно занимающих старые гари в результате действия пожаров в лиственных и сосновых лесах.

1.2. Краткая характеристика лесопатологического состояния лесов региона

Одним из наиболее опасных видов хвоегрызущих насекомых в лесах России, вспышки массового размножения которого приводили к гибели насаждений на больших площадях, является сибирский шелкопряд. В середине 60х годов крупномасштабные очаги этого вредителя в Красноярском крае функционировали на площади около 1,0 млн. га. В результате реализации вспышки в 1995-1996 гг. в темнохвойных лесах нижнего Приангарья гибель насаждений произошла на площади 290 тыс. гектар. Начиная с 1997 года площади лесов, заселенных сибирским шелкопрядом в целом по Сибири и Дальнему Востоку неуклонно возрастали и к концу 2001 года действовали на площади 6934,2 тыс. га [2].

Резкое увеличение площадей с очаговой заселенностью сибирского шелкопряда произошло в основном за счет возникновения новых очагов в Республике Саха (Якутия). В течение 2001 года в четырех лесхозах Якутии была проведена авиационная борьба препаратом "Лепидоцид" на площади 76505 га. Часть популяции была уничтожена, тем не менее очаги сибирского шелкопряда в республике продолжали действовать.

В 2004 году, по данным отраслевой статистической отчетности, по всему ареалу сибирского шелкопряда произошло некоторое снижение площади его очагов. Однако, общая ситуация с распространением этого опасного вредителя продолжает оставаться напряженной, что и определило выбор региона лесопатологического мониторинга лесов.

2. Сбор, подготовка и предварительная обработка спутниковых данных MODIS

Разработка и апробация алгоритма детектирования погибших от пожаров и насекомых лесов проводилось 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.

Данный продукт по классификации NASA имеет название MOD13Q1 «The MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid» с пространственным разрешением 250 метров и 11 информационными каналами. В его состав входят два индекса: нормированный разностный вегетационный индекс NDVI и улучшенный вегетационный индекс EVI, а также информация об их качестве. Продукт также содержит спектрально-отражательные яркости подстилающей поверхности синего, красного, ближнего ИК (NIR) и среднего ИК (MIR) диапазонов электромагнитного спектра. Дополнительно прилагается информация о параметрах датчика и Солнца в момент наблюдения территории.

Подробная информация о продукте находится на Интернет странице прибора:
<http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod13q1v4.asp>

Детектирование повреждений лесного покрова насекомыми-вредителями по данным серии спутниковых изображений MODIS включали этапы предварительной и тематической обработки.

Предварительная обработка данных MODIS состояла из следующих этапов:

- копирование из архивных серверов NASA композитных изображений MOD13Q1 в упакованных форматах;
- преобразование изображений продукта MOD13Q1 в форматы, согласованные с системами обработки и анализа спутниковых данных;
- преобразование в географическую систему координат;
- предварительная обработка данных с целью улучшения качества композитных изображений.

Первоначально материалы съемки с использованием специальной программной оболочки HDF-Converter перевели в географическую проекцию и выделили нужную для исследования территорию. Затем провели преобразование изображений MODIS в систему ERDAS IMAGINE.

Используемые в работе шестнадцатидневные мозаики являются композитными изображениями, сформированными методом выбора из всего доступного набора измерений за 16 дней максимальных значений NDVI с учетом положения пикселя относительно надира (оси прибора к поверхности Земли).

Данный подход является не самым оптимальным для получения качественных мозаик, в результате на изображениях присутствуют «поврежденные» пиксели, связанные остаточной облачностью и ее тенями, снегом, льдом, дымами от пожаров, низким пространственным разрешением относительно декларируемого (250 метров), сбойными измерениями датчиков прибора. С целью минимизации влияния вышеперечисленных недостатков была проведена предобработка композитных изображений:

- Маскирование облачности, снега/льда, дымов от пожаров на основе экспериментально подобранных порогов на основе анализа спектральных сигнатур яркостей этих объектов;
- Учет влияния различий в пространственном разрешении на основе анализа вспомогательных данных, характеризующих положение спутника и Солнца в момент съемки;
- Улучшение спутниковых изображений на основе интерполяции значений яркостей пикселей спектральных каналов, составляющих временные серии. Процедура выполняется методом линейной ап-

проксимации значимых значений пикселей спектральных каналов с учётом маскирующих изображений, идентифицирующих «поврежденные» пиксели.

Для выделения облачности, снега, льда, дымов от пожаров применяется индекс NDSI [3] – нормализованный разностный индекс снега между синим каналом с интервалом длин волн 459 – 479 нм и средним инфракрасным каналом с интервалом длин волн 2105-2155 нм электромагнитного спектра.

В результате обработки изображения формируется тематический слой CP1, содержащий классы облачности, снега, льда. Земная поверхность свободная от облаков, снега и льда кодируется отдельным классом.

Для учета влияния различий в пространственном разрешении при формировании мозаики используется вспомогательный канал, отражающий значение зенитного угла прибора относительно вертикальной оси. Используя модель экспоненциальной зависимости значения пространственного разрешения от угла наклона сканирующего луча прибора, был определен порог для пикселей композитных изображений, реальное разрешение которых превышает 250 метров не более чем на 20%.

Таким образом, маскирования пикселей с низким пространственным разрешением выполняется на основании следующих критериев:

$$CP2 = \begin{cases} (|K9| > 0 \text{ and } |K9| < 20^\circ), 0 \\ 5, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

где K9 – канал с зенитными углами наблюдения датчика MODIS продукт MOD13Q1 (250 м); код 5 – плохое разрешение.

На основе двух маскирующих изображений формируется единая маска «поврежденных» пикселей, для последующей процедуры линейной аппроксимации. По результатам предварительной обработки были получены улучшенные временные серии 16-ти дневных композитных изображений, использованных для последующего тематического анализа (рис.1).

2. Метод выявления изменений в состоянии древесного полога, вызванных массовым размножением насекомых по данным обработки изображений MODIS/TERRA

Тематическая обработка основана на анализе временных серий спутниковых изображений MODIS разных лет с целью выявления изменений в состоянии растительности, вызванных массовым размножением насекомых вредителей. Метод состоит из следующей последовательности процедур тематической обработки:

- Детектирование с помощью адаптивных порогов изменений спектральных яркостей древесной растительности между временными сериями спутниковых изображений разных лет;
- Тематическая идентификация выявленных изменений с использованием дополнительных признаков и информационных источников;
- Формирование картографического продукта с новыми очагами насекомых-вредителей леса.

В качестве признака на этапе выявления спектральных изменений в лесах используется растительный индекс NDBI [4], чувствительный к изменению в состоянии зеленых фракций древесной растительности:

$$NDBI = \frac{R_{0,85} - R_{2,11}}{R_{0,85} + R_{2,11}} \quad (2)$$

где $R_{0,85}$ и $R_{2,11}$ - спектральные каналы 16-дневного композитного изображения MODIS, соответствующие 841-876 нм и 2105-2155 нм диапазонам электромагнитного спектра.

Физической предпосылкой для использования данного индекса является максимальное отражение неповрежденной растительности $NIR_{0,85}$ в ближней ИК части спектра, а также низкий уровень отражения светового излучения водой $MIR_{2,11}$ в среднем ИК спектральном диапазоне [5,6]. Средний ИК диапазон реагирует на изменение влагосодержания в подстилающей поверхности и в атмосфере, что часто используется для анализа состояния растительного покрова и выявления стрессовых ситуаций.

Для выявления спектральных аномалий в растительном покрове, производилась процедура разности временных рядов индексов NDBI. Анализ изменений в значениях индекса между годами сосредоточен в отрицательной части гистограммы индекса. Предварительно эта область гистограммы была разбита на три класса: 1 класс изменений - от 20 до 40% падения значения индекса текущего года по отношению к предыдущему; 2 класс изменений - от 40 до 80%; 3 класс изменений - более 80%.

Градации выбраны условно на основе предположений о линейной зависимости изменения разности вегетационных индексов от степени повреждения зеленых фракций древесной растительности [3].

На 1 класс приходятся изменения, связанные с повреждениями лесов от насекомых вредителей, растительности на старых гарях, слабые изменения гидрологического режима в поймах рек, а также артефакты остаточной облачности и теней от облаков.

На 2 класс приходятся изменения, связанные с сильным повреждением лесов в результате массового размножения насекомых вредителей, повреждениями от лесных пожаров в слабой и средней степени.

В 3 класс изменений в основном попадают свежие гари с полностью погибшей растительностью, сильные изменения гидрологического режима в поймах рек.

С помощью топографических карт были идентифицированы изменения в поймах рек и горной местности. Площади, пройденные пожарами, были отнесены с использованием данных о температурных аномалиях, детектированных по тепловым каналам прибора MODIS.

Оставшаяся часть изменений была причислена к классу «свежие очаги насекомых-вредителей» с учетом покрытой лесом площадей карты наземных экосистем северной Евразии [7].

Окончательно, в результате пространственно-спектральной фильтрации шумов была сформирована маска очагов насекомых-вредителей (рис.2), позволившая провести оценку площадей изменений в лесах исследуемого региона. Итоговая площадь территории лесов, поврежденных насекомыми-вредителями в лиственных лесах Центральной Якутии, в 2002, 2003 и 2004 гг. составила соответственно 82 479, 381 049 и 45 085 га.

3. Валидация результатов обработки данных MODIS/TERRA

Сравнительный анализ результатов экспериментальных работ проводился с данными съемки высокого пространственного разрешения ASTER VNIR (15 метров).

На изображении ASTER визуальнo дешифрировались участки по спектральным свойствам близкие к усохшим насаждениям. Выделенные области преобразовывались в растровую маску очагов поражения леса насекомыми для последующего сравнительного анализа.

Выявленные участки усыхания растительности объединялись в полигоны на основе примыкания соседних пикселей друг к другу. Окончательно полученная маска объединенных участков анализировалась на предмет пространственного ее совпадения с участками очагов, детектированных по данным среднего пространственного разрешения прибора MODIS.

В результате сравнительного анализа, из 75 участков, 14 имеет пространственное совпадение < 50% с участками ASTER, что составляет 19%. Большая часть несовпадений вызвана тем, что метод выявляет изменения текущего года в лесном покрове по отношению к предыдущему году. Это означает, что если повреждения лесов были зафиксированы прибором MODIS в 2002 году, то эти очаги не попали в маску 2003 года. При визуальном дешифрировании на одиночном снимке ASTER отделить новые повреждения от усохших насаждений за прошлые годы не представляется возможным.

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Спутниковые данные MODIS среднего пространственного разрешения позволяют выявлять очаги массового размножения насекомых вредителей для оценки крупномасштабных процессов в трудно доступных лесных регионах Сибири и Дальнего Востока;
- Алгоритм детектирования и картографирования очагов дает возможность оценивать состояние лесного покрова лесов с указанием местоположения подозрительных территорий для последующего проведения детального обследования наземными и авиационными и спутниковыми методами наблюдения высокого пространственного разрешения.

Литература

1. Исаев А.С., Киселев В.В., Калашиников Е.Н., Плешиков Ф.И., и др. Геоинформационные системы в прогнозировании и контроле массового размножения лесных насекомых // Лесоведение, 1999. №5. С. 15-23.
2. Обзор санитарного состояния лесов России за 2003 год // ФГУ «Рослесозащита», Москва, 2003.
3. A.S. Isaev, G.N. Korovin, S.A. Bartalev, D.V. Ershov, Anthony Janetos, Eric S. Kasishke, Herman H. Sugart, Nancy H. French, Brian E. Orlick, Tommy L. Murphy. Using remote sensing for assessment of forest wildfire carbon emissions, *Climate Change* 55: P. 235-249, 2002.
4. Отчет о научно-исследовательской работе. Крупномасштабные процессы в бореальных лесах Евразии и прогноз их воздействия на состояние биосферы // ЦЭПЛ РАН, Москва, 2003, С. 107.
5. 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 лес-

ном хозяйстве: Доклады 3-ей Всероссийской конференции, посвященной памяти Г.Г. Самойловича, Москва, 18-19 апреля 2002, С. 30-34.

6. *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.
7. S.A. Bartalev, A.S. Belward, D.V. Erchov, A.S. Isaev A new SPOT4-VEGETATION derived Land Cover Map of Northern Eurasia, *International Journal of Remote Sensing*, Reference No: RES 103841 and associated cover (reference RES 107158), 2002.