АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЛЕСОВЕДЕНИИ И ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

А. В. Андреева, А. А. Бузников, С. В. Скрябин, А. А. Тимофеев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

Современные мегаполисы, такие как Санкт-Петербург, оказывают мощное дестабилизирующее влияние на окружающую среду и являются источниками техногенной нагрузки как на городские, так и на прилегающие экосистемы. Особого внимания заслуживает контроль трансграничного переноса загрязнений. Для этого необходимо разработать систему экологического мониторинга состояния окружающей среды соответствующую международным требованиям. Так как распространение поллютантов от источника загрязнения происходит неравномерно, то первоначально необходимо определение профиля и источников загрязнения средствами дистанционного зондирования и составление приблизительной экологической карты. На втором этапе могут быть использованы более точные контактные методы для уточнения тестируемых параметров на локальных участках.

Одними из наиболее токсичных поллютантов природной среды являются тяжелые металлы. При их воздействии на растительность наблюдается изменение спектральных отражательных характеристик, что может служить основой для разработки дистанционных методов экспресс – оценки экологического состояния окружающей среды.

На протяжении нескольких лет нашей научной группой проводятся комплексные лабораторные и полевые эксперименты на территории Санкт-Петербурга и Карельского перешейка с целью установления взаимосвязи изменения спектральных отражательных характеристик индикаторных видов растений от уровня загрязнения тяжелыми металлами. Спектрометрирование проводится разработанным на кафедре КЭОП полевым фотоэлектрическим спектрометром (ПФС) с рабочим диапазоном 400-750 нм. В процессе исследований формируются и уточняются требования к спектральной аппаратуре для получения наилучших результатов аналитической обработки данных. На основе этих требований разрабатывается новая спектральная аппаратура для повышения качества результатов научной работы.

Проводимые исследования направлены на разработку метода экспресс - оценки экологического состояния окружающей среды средствами дистанционного зондирования.

REMOTE SENSING OF VEGETATION IN THE OPTICAL RANGE FOR ESTIMATION OF POLLUTION BY HEAVY METALS

A. Andreeva, A. Buznikov, S. Skrjabin, A. Timofeev

Saint-Petersburg State Electrotechic University “LETI”, Saint-Petersburg

Within several years we have been carrying out research on studying influence of heavy metals on optical characteristics of plants for development the express-method of a re-

mote estimation of pollution. Series of field experiments have been lead, and as a result display kinds of plants for the express-estimation of pollution by heavy metals using remote sensing in an optical range are found. Laboratory experiments have been led to make a scale for the spectra of plants dependent on

ОБ ИНФОРМАТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ МОНИТОРИНГА ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

М. А. Ануфриев

Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола

В настоящее время в нашей стране на основе использования материалов космических съёмок решается огромное количество задач лесного хозяйства. В 2005 году Федеральным Агентством лесного хозяйства разработаны «Методические рекомендации по аэрокосмическому мониторингу порядка лесопользования», которые предусматривают использование в многолесных районах страны материалы космических съемок с разрешением на местности от 5-10 м до 100 - 150 м или аэрофотоснимки в масштабах 1-50000 и мельче. Для выявления мест концентрации сплошнолесосечных рубок в таежных районах страны рекомендуется применение космических снимков с разрешением 100-150 м, для обобщенной оценки вырубок и определения мест проведения выборочной аэрофотосъемки – 20 - 50 м и для определения основных характеристик вырубок (размеры, размещение, сроки примыкания, направление рубки, наличие недорубов, завизирной рубки, выявление мест рубок, где они запрещены или на проведение их отсутствуют разрешительные документы и пр.) 5-10 м. Для определения детальных характеристик – количества брошенной древесины, сохранности семенников, подроста, почвенного покрова предусмотрено проведение выборочной крупномасштабной аэрофотосъемки с разрешением на местности не хуже 10 см. Однако при проведении работ по оценке порядка лесопользования в 2005-2006 г. космические снимки использовались недостаточно. Работы проводились преимущественно по материалам мелкомасштабной аэрофотосъёмки. Причинами являются организационные трудности с получением космических снимков требуемого технологического качества, а главное отсутствие у исполнителей опыта работы с материалами космических съёмок и достаточно полных данных по оценке точности определения характеристик по космическим снимкам нового поколения, к которым относятся IRS, Ikonos, Монитор-Э и др.

Республика Марий Эл относится к регионам с интенсивным лесопользованием, в результате которого ежегодно происходит обезлесивание значительных площадей. В связи с увеличением антропогенной нагрузки на леса возникает необходимость осуществления непрерывного мониторинга лесопользования. Эту задачу трудно решить без применения данных дистанционного зондирования (ДДЗ).

Ранее проведённые исследования информативности материалов космических съёмок для решения задач мониторинга лесопользования касаются таёжных лесов нашей страны, для районов с интенсивным многофункциональным лесопользованием, имеющим дробную структуру лесного фонда, меньшие размеры вырубок и выполняющих большое количество средообразующих функций, исследований не проводилось.

В ходе исследований решались две задачи:

- оценка тематической информативности данных дистанционного зондирования для картирования лесного фонда;

- исследование материалов космических съёмок применительно к задачам мониторинга лесопользования республики Марий Эл.

Материалами для исследований являлись космические снимки, полученные зарубежными и отечественными спутниковыми системами (Landsat-7, IRS-1, Ikonos, Монитор-Э), спектрозональные аэрофотоснимки масштаба 1:15000, планы лесонасаждений, данные лесоустройства (таксационные описания 109480 выделов) и результаты наземных обследований (таксационные и таксационно-дешифровочные пробные площади).

Использовались следующие программы: MultiSpec и Photoshop для обработки и классификации снимков, MapInfo и ГИС Лесфонд для пространственного анализа результатов классификации, интерактивного измерения параметров вырубок и контроля режимов категорий защитности.

Классификация снимков с целью изучения информативности данных дистанционного зондирования для картирования земель лесного фонда осуществлялась по материалам космической съёмки, получаемой с ИСЗ Landsat-7, поскольку все современные спутники имеют спектральное разрешение схожее со сканером ETM+. Дешифрирование проводилось по алгоритмам контролируемой и не контролируемой классификации. Получаемые тематические маски в MapInfo сравнивались с планами лесонасаждений, после чего был обоснован выбор комбинации спектральных каналов и алгоритмов для автоматизированной классификации материалов космических съёмок с целью картографирования земель лесного фонда. Рекомендуются комбинации каналов следующих спектральных диапазонов: красного, зелёного и ближнего инфракрасного. Наиболее достоверные результаты дешифрирования лесов получены при использовании алгоритма максимального правдоподобия.

Выявлено что, по многозональным космическим снимкам среднего пространственного разрешения могут с достоверностью более 90% дешифрироваться только укрупнённые классы: покрытые и непокрытые лесом земли, группы преобладающих пород, водные объекты, болота. Построена карта-схема распределения территории республики по группам преобладающих пород (рисунок).

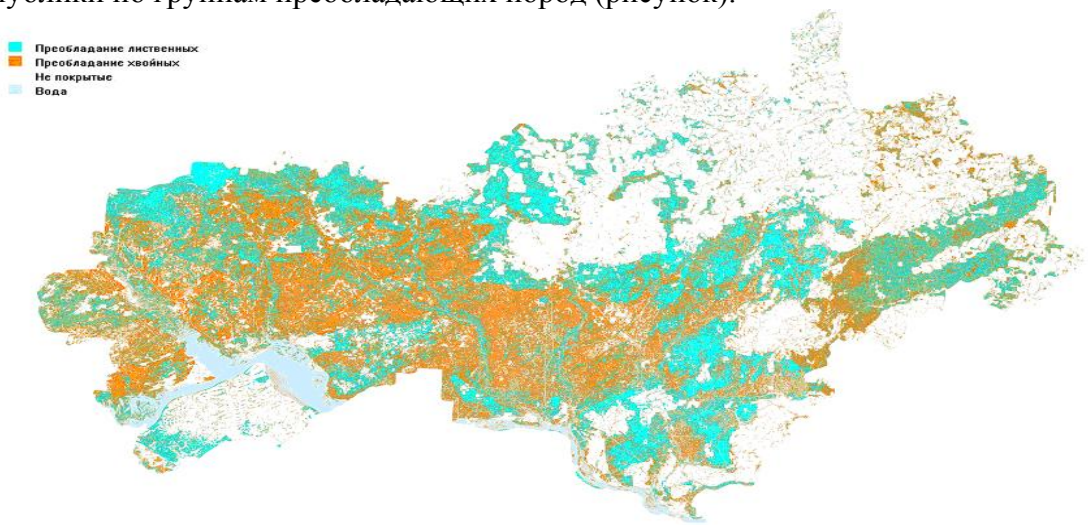


Рисунок. Результат классификации снимка полученного с ИСЗ «Landsat-7» по алгоритму обучаемой классификации с выделением категорий земель и групп преобладающих пород

Исследования возможностей применения данных дистанционного зондирования для мониторинга лесопользования дали следующие результаты. По материалам косми-

ческих съёмок, полученных спутниковыми системами (Landsat-7, IRS, Ikonos, Монитор-Э), могут быть обнаружены вырубки размером от 0,5 га и более, при интерактивном измерении параметров лесосек по изображениям с ИСЗ Ikonos погрешность определения площадей вырубок составляет ±4,6%, что удовлетворяет требованиям предъявляемым к крупномасштабным и среднемасштабным аэроснимкам методическими рекомендациями по аэрокосмическому мониторингу порядка лесопользования. Точность определения параметров вырубок по космическим изображениям, полученным с ИСЗ IRS и Монитор-Э, составляет соответственно ±8,5% и ±12%.

Разработана методология мониторинга лесопользования на основе использования данных лесоустройства и материалов аэрокосмических съёмок в среде ГИС, применительно к условиям республики Мари Эл.

В среде MapInfo на базе космических снимков с КА IRS пространственным разрешением 6 м была создана геоинформационная система, включающая в себя следующие векторные слои: реки, озёра, автодороги, населённые пункты, границы лесного фонда и его дифференциацию по категориям защитности.

В результате была получена геоинформационная система, которая пространственно отображает режимы ведения лесопользования на территории республики. Для осуществления мониторинга в созданную ГИС включаются имеющиеся материалы аэрокосмических съёмок и осуществляется контроль за способами рубок, их размещением и размерами.

ABOUT SELF-DESCRIPTIVENESS OF THE REMOTE SENSING MATERIALS WITH REGARD TO THE OBJECTIVES OF FOREST MANAGEMENT MONITORING IN REPUBLIC MARI EL

M. Anufriev

Mari state technical university, Ioshkar-Ola

The paper discusses questions of remote sensing materials application to the needs of forest management monitoring on the territory of republic Mari El.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО УПРАВЛЯЕМОЙ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ С GPS ОРИЕНТИРОВАНИЕМ И ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА, ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И ОХРАНЫ ЛЕСОВ

М. Д. Брейдо

г. Нью-Йорк, США

Возможности применения дистанционно-управляемых по радиоканалу беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с автоматическим определением координат местности на основе системы глобального позиционирования (GPS или ГЛОНАСС) в сочетании с управляемыми цифровыми фотокамерами (ЦФК) представляются весьма впечатляющими.

БПЛА достаточно дешевы, не требуют аэродромов для старта и посадки, требуют мало горючего, могут использовать электродвигатели и летать на очень низких высотах, имеют достаточно большую дальность полета, могут управляться как из стацио-

нарного, так и из переносного центра. Например, запуск беспилотного самолета Skylark-II производства компании “Эльбит” (удостоенного звания лучшего научно-технологического достижения 2006 года в области аэронавтики) можно осуществить с грузовика. Другим примером является разработанный компанией Proxity Digital Networks беспилотный летательный аппарат CyberBug, способный подлетать близко к объекту и передавать оператору видеоизображение и звук с места. CyberBug весит менее килограмма и может быть запущен с руки (см. Фото).

На нем установлена система глобального позиционирования GPS и он может передавать оператору точные координаты обследуемого объекта. CyberBug оснащен электрическим мотором с пропеллером и управляется с дистанционного пульта. Стоимость аппарата не более 5.5 тысяч долларов.

Установка на БПЛА систем GPS или ГЛОНАСС приемников и цифровых дистанционно управляемых фотокамер высокого разрешения с нужными фильтрами позволяет получать высококачественные снимки с точной привязкой к местности практически с любых необходимых высот, что дает возможность в сочетании с картографическими базами и базами описаний изображений местности решать задачи как глобального мониторинга, так и детального обследования лесных участков, заменяя в ряде случаев наземные обследования при значительном удешевлении работ и сохранении высокого качества результатов. Видеоизображение с летательного аппарата может быть передано на экран портативного компьютера по радиоканалу в режиме реального времени, а управление самолетом возможно по компьютерному экрану с расположенной на нем картой местности, на которой можно обозначить объекты для съемки и наметить маршрут полета. Это весьма удобно при инвентаризации лесного фонда, мониторинге лесных пожаров, оценке их последствий и в ряде других случаев.

Основными этапами функционирования такой системы являются:

1. Разработка (или использование имеющихся) программ дистанционного управления БПЛА и цифровыми фотокамерами.
2. Создание тематических карт и привязка их к выбранной системе координат.
3. Получение фотографий лесных участков по заданному маршруту полета, их передача в центр управления и привязка к тематической карте.
4. Предварительная обработка снимков. Например, при глобальном мониторинге иногда целесообразно выполнить процедуру цифрового «склеивания» смежных снимков для объединения ‘мелких’ участков при крупномасштабной съемке с сохранением детальности (например, программой Canon Photo Stitch или иной из имеющихся в настоящее время).
5. Дешифрирование снимка и описание выбранного участка, например, в виде разложения по некоторому специально подобранному набору базисных функций. На этом этапе возможно использование стереоскопического подхода и различных способов описания двумерных и стерео снимков.
6. Оценка качества описания путем сравнения исходного снимка с ним же, полученным обратным преобразованием. Такая процедура позволяет выбрать наиболее краткое описание с заданной точностью. Использование описания снимка вместо самого снимка дает возможность уменьшить объем требуемой памяти и нивелировать влияние несущественных деталей, например, внешнего освещения. В ряде задач мониторинга и инвентаризации лесного фонда имеет смысл применение цифровых фотокамер с несколькими объективами,

снабженными различными цифровыми фильтрами, хотя это и усложняет процедуру обработки снимка и структуру тематических баз данных.

7. Создание оперативных тематических баз данных (БТД) лесных участков по полученным описаниям их снимков с добавлением наземных характеристик.
8. Разработка инструкций по использованию программ дистанционного управления полетом и цифровой фотокамерой.
9. Сравнение хранящейся в тематической базе данных информации о лесных участках с полученными по новому цифровому снимку характеристиками тех же участков и выявление различий с последующим принятием решений на основе знаний и опыта оператора центра управления. Например, коррекция программы полета, настройка съемочной аппаратуры, коррекция тематической карты и базы тематических данных и др.
10. Придание всей системе элементов искуственного интеллекта с разработкой структуры и созданием базы знаний.

Преимуществом применения БПЛА, помимо вышеуказанного, является простота его использования. Для его запуска и управления нет необходимости проходить летную подготовку. Место посадки можно определить заранее а управление осуществлять, как уже было сказано, прикосновением оператора к сенсорному экрану компьютера с расположенной на нем картой.

Внедрение такой системы разумно выполнить в два этапа.

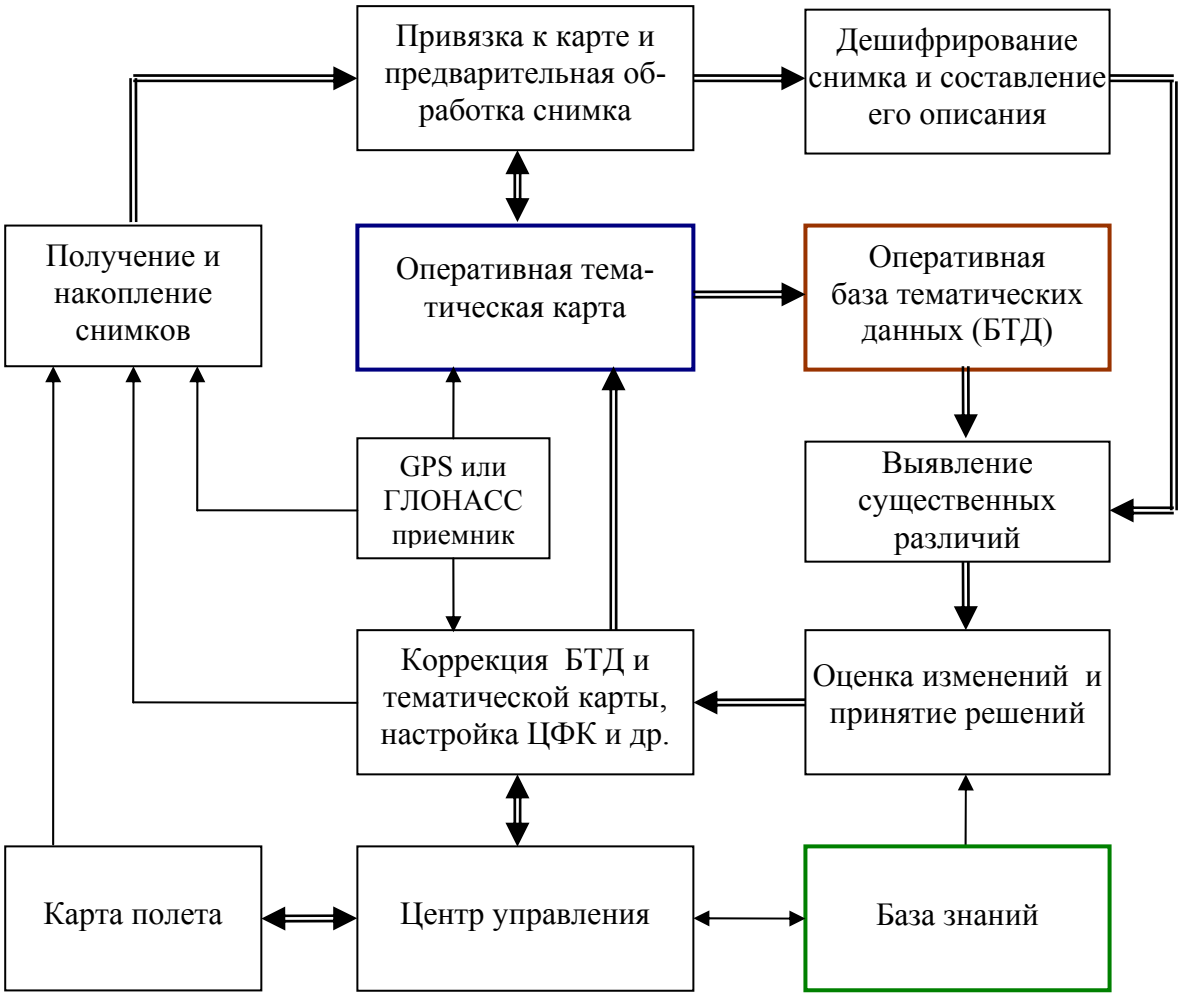
Первоначально проводится накопление опыта при неавтоматическом решении почти всех задач (выполнение пунктов 1-9) и определение структуры базы знаний.

Затем полученные знания используются для улучшения процедур дешифрирования снимка и автоматизации его описания, заполнения тематических карт и баз данных, коррекции программ принятия решений и наступает этап полуавтоматического функционирования системы с вмешательством оператора лишь на стадиях принятия решений и пополнения базы знаний.

Важнейшей задачей второго этапа является разработка структуры базы знаний и создание прикладных программ работы с ней, т. е. выполнение вышеуказанного пункта 10.

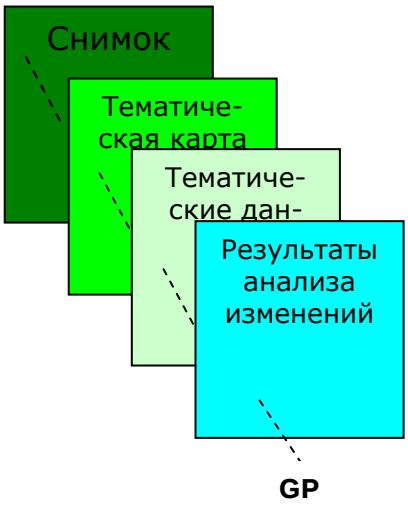
От качества решения этой задачи зависит эффективность функционирования всей системы в целом. Для ее решения могут быть использованы методы ситуационного и адаптивного управления, структурные методы обработки эмпирических данных, лингвистические методы, алгоритмы автоматической классификации и др. Получаемое при этом решающее правило должно быть рассчитано на его активное использование оператором-практиком лесного хозяйства и лесоустройства, что возможно только в рамках принятой в лесоустройстве и лесопользовании системы понятий. Окончательный вариант решения задачи представляется целесообразным выбирать не только на основе формальных характеристик (например, больших коэффициентов корреляции), но и с учетом неформальной оценки содержательной интерпретируемости решения в целом.

Ниже представлена общая схема технологии использования получаемых с БПЛА снимков.



Представленная ниже схема наглядно иллюстрирует работу такой технологии.

После выхода БПЛА на точку съемки и выполнения самой съемки полученный снимок совмещается с оперативной тематической картой по реперным точкам на основе информации с GPS приемника. Коды покрытых снимком участков отмечаются в оперативной тематической карте и передаются в базу тематических данных, где по их указанию в соответствии со структурой базы производится поиск и выборка имеющихся характеристик этих участков.



После обработки снимка и получения его описания вычисленные по снимку характеристики каждого покрытого им лесного участка сопоставляются с аналогичными данными тех же участков, имеющимися в тематической базе данных с целью выявления существенных различий.

Контуры найденных изменений после их оценки блоком принятия решений проектируются на тематическую карту в раздел изменений, а новые характеристики участков заносятся в соответствующий раздел изменений базы тематических данных.

В центре управления полетом принятые решения анализируются с использованием информации из базы знаний и опыта оператора и вводятся (при необходимости) необходимые коррекции, включая обновление тематической карты и базы тематических дан-

ных на основе информации из соответствующих разделов изменений, изменение маршрута и программы полета и др.

THE POSSIBILITIES OF USING THE PROGRAM-CONTROLLED PILOTLESS AVIATION WITH GPS AND DIGITAL CAMERAS FOR MONITORING, FOREST SURVEYING, AND PROTECT OF FOREST

M. Breydo

New York, USA

It is considered the scheme of using pilotless aviation with GPS and digital cameras in automation system of monitoring, forest surveying, and protect of forest.

КОСМИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ *ASTER* КАК ИСТОЧНИК ДАННЫХ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА: ХАРАКТЕРИСТИКИ, МЕТОДИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Н. А. Владимирова

Московский государственный университет леса,
кафедра лесоустройства и охраны леса, г. Москва

Данные спутникового дистанционного зондирования находят свое применение в различных областях современного лесного хозяйства, таких как изучение лесных экосистем, инвентаризация и картографирование лесов, регистрация текущих изменений в лесном фонде, анализ долговременной динамики лесного покрова, оценка соблюдения правил рубок главного пользования, состояния лесовозобновления на вырубках, состояния насаждений в зоне промышленного загрязнения [5]. На современном рынке данных дистанционного зондирования представлено большое количество изображений, обладающих сходными характеристиками охвата, пространственного и спектрального разрешения.

При выборе данных дистанционного зондирования, которые будут использоваться для решения лесохозяйственных задач, необходимо в первую очередь учитывать соотношение информативность/цена. По этому критерию лидируют изображения ASTER, полученные с американского спутника TERRA. КСС Aster могут стать важным источником данных для всех областей лесного хозяйства, связанных с дистанционным зондированием. Однако в России изображения Aster по-прежнему малоисследованы, что препятствует их широкому использованию.

Проведена оценка информативности изображений Aster с целью определения их пригодности для решения задач лесоустройства.

Объектами экспериментальных работ выбраны Айкинский лесхоз Республики Коми и Сергиево-Посадский опытный лесхоз ВНИИЛМ. Этот выбор обусловлен следующими причинами: объекты исследований расположены в различных географических зонах, лесоустройство в обоих лесхозах проведено в 2002 г., но в Сергиево-Посадском лесхозе по I разряду лесоустройства с минимальным размером выдела 0,1-1 га, а в Айкинском – по II разряду с минимальным размером выдела 0,1-3 га [6]. Таким образом, данные лесоустройства Сергиево-Посадского лесхоза характеризуются высо-

кой детальностью и обеспечивают выбор надежных эталонов для отработки методики дешифрирования, которую затем можно распространить на Айкинский лесхоз, где лесоустройство менее детально, и, следовательно, целесообразно применять космические изображения.

В качестве исходных материалов для дешифрирования использовались изображения Aster, материалы лесоустройства и топографические карты.

Методика автоматизированного дешифрирования предусматривает определенные этапы, описанные в специальной литературе [2] и [3]. На практике дешифрирование выполнялось нами в такой последовательности:

1. *Предварительная подготовка изображений к обработке.*
2. *Подготовка картографической базы данных и создание или присоединение к картографической базе данных атрибутивных таблиц с лесотаксационной информацией.*
3. *Отбор информации из совмещенных лесотаксационной и картографической баз данных для формирования эталонов.*
4. *Предварительная обработка и улучшение изображений (коррекция, трансформирование и привязка к топографической основе).*
5. *Совмещение картографических и лесотаксационных данных с изображениями.*
6. *Классификация данных дистанционного зондирования и оценка ее точности.*

Для классификации снимков и дальнейшей оценки ее точности использовался программный пакет ERDAS Imagine 8.4.

В программном пакете ERDAS реализованы два типа классификации – неконтролируемая и контролируемая на основе заранее выбранных пользователем эталонных участков. Основой для выбора эталонов в нашем случае стали карты преобладающих пород и категорий земель, подготовленные на предыдущих этапах работы.

При выборе эталонных участков необходимо соблюдать следующие условия: репрезентативность (эталоны должны отражать всю совокупность значений яркостей для данного класса), однородность (отсутствие нехарактерных для класса значений яркости), различимость (достаточное различие спектральных яркостей классов) и характер распределения значений яркости (не для всех решающих правил классификации) [3], [4].

ERDAS предоставляет пользователю различные способы выбора эталонных участков. В литературе чаще всего предлагается выбирать эталоны из пространства признаков [3]. Однако мы при выборе эталонов руководствовались более простым способом – поиском однородных участков прямо на снимке.

Для Айкинского лесхоза применен такой подход: на основании априорных данных (в нашем случае плана насаждений, окрашенного по преобладающим породам) выбраны участки размером в несколько пикселей с примерно одинаковой спектральной характеристикой, которые отнесены к определенному классу.

Минусом такого подхода является некоторая сложность в соблюдении условия различимости. Несмотря на преобладание какой-либо породы на выделе, цвет такого выдела на снимке все равно неоднороден из-за примесей, а также условий освещения, влажности и других факторов.

Для Сергиево-Посадского лесхоза, кроме вышеописанного подхода, применен следующий способ: в качестве эталона выбраны целые выделы с той или иной преобладающей породой. При этом программа усредняет их спектральные характеристики, и для оператора отпадает необходимость тщательно искать эталонные пиксели. Такой подход возможен при очень высоком качестве исходных материалов, как снимка, так и лесотаксационных данных. В случае Сергиево-Посадского лесхоза снимок был сделан в очень хороших метеоусловиях, а лесоустройство проводилось по первому разряду, предполагающему высокую детальность.

После того как набрано достаточное количество эталонов по определенному классу, формируется его сигнатура (совокупность спектральных характеристик класса) с помощью инструмента Редактор Сигнатур. На основе наборов сигнатур по каждому классу проводится контролируемая классификация.

ERDAS поддерживает 3 алгоритма параметрических контролируемых классификаций: по правилу максимального правдоподобия, минимального расстояния и расстояния Махалонобиса. Каждый из этих алгоритмов имеет свои преимущества и недостатки [3], и поэтому для получения надежных результатов необходимо использовать все три алгоритма классификации.

Для оценки точности классификации с помощью встроенного инструмента ERDAS составляется матрица ошибок. Программа генерирует набор случайно расположенных точек и в специальной таблице показывает к какому классу они отнесены по результатам дешифрирования. Оператор вводит в специальном столбце этой же таблицы реальное значение класса.

Недостатком такого способа оценки точности является его зависимость от опытности оператора, невозможность избежать субъективных факторов при отнесении оператором пикселя к тому или иному классу.

После того как таблица заполнена, программным пакетом создается отчет о точности классификации, содержащий собственно матрицу ошибок, процент правильного отнесения пикселей к определенному классу и статистику каппа по каждому классу. Чем выше значение каппа, тем более достоверны результаты классификации. Формула для вычисления статистики каппа приводится в [3].

Значения статистики каппа для изучаемых объектов приводятся в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Значения статистики каппа для снимка Aster на объект «Сергиево-Посадский лесхоз»

Название класса	Значение статистики каппа для классификации по методу		
	максимального правдоподобия	Махалонобиса	минимального расстояния
Ель	0,85	0,59	0,65
Береза	0,86	0,56	0,79
Осина	0,62	0,73	0,47
Широколиственные	0,52	0,83	0,45
Ольха	0,47	0,83	0,27
Ель - лесные культуры	0,63	0,75	0,47
Земли, не покрытые лесом	0,86	0,94	0,91
Сельскохозяйственные угодья	1,00	0,85	0,96
Водоемы	1,00	1,00	1,00
Среднее по всем классам	**0,77**	**0,75**	**0,71**

Таблица 2

Значения статистики каппа для снимка Aster на объект «Айкинский лесхоз»

Название класса	Значение статистики каппа для классификации по методу		
	максимального правдоподобия	Махалонобиса	минимального расстояния
Еловые насаждения	0,88	0,70	0,73
Сосновые насаждения	0,38	0,45	0,68
Березовые насаждения	1,00	0,68	0,62
Другие мелколиственные насаждения (осина, ольха)	0,74	0,60	0,62
Вырубки	0,76	0,70	0,76
Болота	1,00	1,00	0,47
Облака	1,00	1,00	1,00
Тени от облаков	1,00	1,00	1,00
Среднее по всем классам	**0,67**	**0,60**	**0,67**

Как видно из таблиц 1-2, для объекта «Сергиево-Посадский лесхоз» удалось выделить большее количество классов, чем для объекта «Айкинский лесхоз». Средняя точность дешифрирования по всем классам достаточно высока (в специальной литературе [3] принято считать хорошим результат классификации с точностью выше 0,75). Невысокие значения точности по отдельным классам объясняются недостаточным числом эталонов и перепутыванием с другими классами (например, сосна часто путается с елью, а осиновые насаждения – с березовыми). Для объекта «Айкинский лесхоз» количество классов меньше, и поэтому значения статистики каппа выше (кроме сосновых насаждений). Меньшее количество классов для Айкинского лесхоза объясняется худшим качеством самого снимка, а также меньшей детальностью лесоустроительной информации, служившей основой для выбора эталонов.

В процессе дешифрирования и оценки точности было замечено, что алгоритм, предоставляемый программой ERDAS, излишне формален, и поэтому для объективного суждения о пригодности тех или иных КСС для решения лесохозяйственных и экологических задач необходима разработка дополнительных методов оценки точности классификации.

Результаты дешифрирования были автоматически оцифрованы в среде ArcView 3.2. Так была получена векторная карта с показанными на ней классами объектов. На данную карту в среде ГИС был наложен цифровой лесоустроительный планшет. Внутри выделов средствами программной среды была подсчитана площадь, занимаемая каждым из представленных классов в пределах каждого из выделов, и процент занимаемой площади по отношению к общей площади выдела. Исходя из полученных данных были выведены формулы состава насаждений (табл. 3)

Таблица 3

Состав насаждений по результатам дешифрирования. Сергиево-Посадский лесхоз, Хотьковское лесничество, квартал 28, выделы 1-14

№ выдела	Состав по результатам классификации по методу			Состав по таксационному описанию
	Максимального правдоподобия	Махалонобиса	Минимального расстояния	
1	5Олс3Е2Л	9Е1Олс	10Е+Ос	5Е1Б1ОС3ОЛС
2	6Е4Олс	9Е1Б	10Е	6Е2Б2ОС
3	4Е4Олс2Л	8Е2Олс	5Е3Олс1Л1Ос	5Е2Б1ОС1ОЛС1ЛП
4	4Олс3Л2Е1Ос	8Е1Б1Л	9Е1Олс+Л	6Е2Б2ОС
5	9Е1Олс	10Е	10Е	8Е1ОС1Б+ОЛС
6	7Е3Олс	10Е	10Е	4Б3ОС3Е
7	5Е3Олс2Л	8Е2Олс	10Е	6Е3Б1ОС
8	5Ос3Л2Е+Олс	6Б2Е2Ос+Л+Олс	6Б2Ос	7Б1ОС2Е
9	5Ос3Л2Олс+Е	6Б2Е2Ос+Л+Олс	3Б3Ос2Л1Е1Олс	4Б2ОС4Е+ОЛС
10	5Ос3Л1Е 1Олс	6Е4Б	7Е2Л1Б	5Е1Б1ОС2ОЛС1Е+ЛП+ДН
11	5Ос3Б2Е+Л	6Е4Б	7Б2Л1Ос	6Б2ОС2Е+ЛП+ОЛС
12	5Олс3Л1Ос1Е	4Б3Е3Олс	4Олс2Л2Е1Б1Ос	5Б2ОС3Е
13	6Е4Олс	9Е1Б	6Е4Б	5Е2ОС3Б+ОЛС
14	5Е3Ос2Олс	Ред 5Е5Б	4Е4Б2Олс	7ОЛС1Б1ОС1Е

Исследования показали, что все алгоритмы контролируемой классификации позволяют определять состав насаждений, но с различными ограничениями. Метод *максимального правдоподобия*, характеризующийся самыми высокими значениями статистики каппа, показал самую высокую детальность при определении породного состава, однако процент второстепенных пород из-за этого оказался сильно завышенным, а также в формулах появились породы, занимающие незначительные площади на выделе,

такие как ольха. Методы *Махалонобиса* и *минимального расстояния* показали примерно одинаковую точность; как правило, они выявляют 1-3 имеющихся на выделе пород, но практически не добавляют незначительных по площади.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что изображения Aster вполне пригодны для актуализации на материалах лесоустройства породного состава и сомкнутости древостоев.

Кроме того, по снимкам Aster с высокой точностью (значение статистики каппа 0.70-0.75) возможно выявлять рубки и отслеживать стадии их зарастания или заболачивания.

В целом можно сказать, что космические изображения Aster очень перспективны для лесного хозяйства. Конечно, они не могут заменить аэрофотоснимки, но в своем классе задач Aster, во всяком случае, не хуже своих более дорогих конкурентов.

Литература

1. ASTER User's Guide (Ver.3.1) March, 2001. **ERSDAC**
2. ERDAS Field Guide – fifth edition, revised and expanded – ERDAS inc, Atlanta, Georgia, 1999 – 672 c.
3. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.
4. Лурье И.К. Основы геоинформационного картографирования: Учебное пособие. - М.: МГУ 2000.- 143 с.
5. Малышева Н.В. Дистанционное зондирование для изучения лесных экосистем, учета, контроля и управления лесными ресурсами. // Лесохозяйственная информация, №1, 2002 – С. 31-62
6. Отчет ВНИИЛМ о научно-исследовательской работе за 2005 г. по Теме 3.25 Сводного плана НИР лесохозяйственного направления.
7. Справочник лесничего/ Под общ. ред. А.Н. Филипчука. 7-е изд., пераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.

ASTER COSMIC IMAGERY AS A DATA SOURCE FOR FORESTRY: FEATURES, METHODS OF INTERPRETATION, PROSPECTS OF USE

N. Vladimirova

Moscow State Forest University, Moscow

Some examples of Aster images implementation for ecological and forestry purposes are given. An experience of forest-measurement-based automated classification is described. Capability of Aster images for forest and ecological purposes is discussed.

ВЫБОР АДАПТИВНЫХ ПОРОГОВ В АЛГОРИТМЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОЖАРОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

А. А. Галеев, Е. А. Лупян, А. А. Мазуров, Е. В. Флитман

Институт космических исследований РАН, г. Москва

В настоящее время одним из наиболее устойчивых и надежных алгоритмов детектирования пожаров по спутниковым данным является алгоритм MOD14 [1-2], рассчитанный на работу с данными прибора MODIS [4], установленного на спутниках TERRA и AQUA. Этот алгоритм обеспечивает достаточно устойчивое детектирование пожаров и дает очень низкий процент ложных тревог. В настоящее время данный алгоритм является базовым алгоритмом автоматического детектирования пожаров в ин-

формационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) [3].

В то же время опыт эксплуатации MOD14 в рамках ИСДМ Рослесхоз показал, что при его работе могут возникать пропуски пожаров. При этом число пропусков сильно зависит от конкретных регионов, времени и условий наблюдения. Отметим, что в алгоритме MOD14 к рассмотрению принимаются только точки, у которых радиояркостная температура в канале 3.5-4 мкм превышает 305К в ночное время и 310К в дневное время. При выполнении в точке данного условия она участвует в процедуре дальнейшей обработки с помощью контекстуального алгоритма. Все точки, в которых данное условие не выполнено, вообще исключаются из обработки, что в частности, и приводит к ошибкам, связанным с пропуском действующих пожаров. Поэтому одной из основных задач адаптации алгоритма MOD14 к работе при различных условиях наблюдений является оптимальный выбор вышеупомянутых порогов отсечения.

Следует отметить, что для возможности построения процедуры оптимального порога для разных условий наблюдения и разных лесорастительных условий необходимо иметь опорную информацию о том, является ли действительно детектированная точка пожаром или это ложное срабатывание алгоритма. Стандартный путь получения такой информации - это выделение некоторых тестовых регионов и сбор по ним наземных данных или спутниковых данных высокого разрешения. Такой путь достаточно затратен и требует как полевых исследований, так и, в большинстве случаев, проведения ручной обработки и анализа данных. Такие работы могут быть реально проведены лишь на небольшом числе тестовых регионов при достаточно ограниченных условиях наблюдений и типах лесорастительных условий. Поэтому такой путь практически не может позволить провести работы по адаптации параметров алгоритма к широкому классу условий наблюдений.

В настоящем докладе предлагается другой подход к проведению анализа данных. Он основан на сравнении данных о детектированных пожарах с данными детектирования гарей (площадей, пройденных огнем), полученными на основе обработки информации, поступающей от прибора VEGETATION, установленного на спутнике SPOT. Данные о площадях, пройденных огнем, получаются на основе анализа состояния растительного покрова и изменений, происходящих в нем. Алгоритм выделения площадей, пройденных пожаром, достаточно подробно описан в работах [4, 5], он прошел различные уровни валидации [6] и с 2005 года используется в ИСДМ Рослесхоз [3]. Это позволяет получать информацию о площадях, пройденных огнем, на всей территории России. Таким образом, для анализа качества детектирования активных пожаров на всей территории России для достаточно широкого спектра условий наблюдений, мы имеем независимую информацию о том, был ли действительно пожар в окрестности детектированной точки или нет. Начиная с июня 2006 года со всех станций приема, работающих в интересах этой системы, собирается информация обо всех точках, у которых яркостная температура в канале 3.5-4 мкм превышала 270К, а контекстуальный алгоритм выявлял условия, соответствующие действующему пожару. Распределение полученных дневных и ночных точек по температуре в канале 3.5-4 мкм приведено на рис. 1. По этому распределению хорошо видно, что в области значений температуры ниже используемых порогов лежит значительное количество точек. Так, в ночное время ниже стандартного порога 305К попадает почти 70% детектированных точек, а в дневное время – 44%. Следует отметить, что понижение порога температуры не приводит к обвальному росту детектируемых точек – здесь срабатывают другие критерии алгоритма MOD14. Этот факт подтверждает правильность предположения о возможности проведения варьирования стандартного порога, используемого в алгоритме, и в ряде случаем понижения его значения.

Для проведения анализа полученных данных предложен следующий подход:

- каждая детектированная с помощью алгоритма MOD14 точка сопоставляется с информацией о гарях и, если в окрестности точки найдена гарь, которая образовалась в период детектирования пожара, точка считается подтвержденной.
- после проведения сопоставления строились зависимости процента детектированных точек активных пожаров, совпавших с гарями, от температуры.

Данные зависимости строились для различных типов поверхности и различных условий наблюдения. Примеры таких зависимостей для разных условий наблюдения приводятся в докладе. На рис 2. приведен пример такой зависимости для пожаров, детектированных на лесных территориях. На представленном графике также отмечены пороги отсечения, использующиеся в стандартном алгоритме MOD14, ниже которых точки вообще не рассматриваются. Следует также отметить, что при детектировании гарей может происходить их пропуск, в случае если гарь имеет достаточно малый размер [5, 6]. Для того чтобы максимально отсечь подобные ошибки при построении графиков, представленных на рис. 2, анализировались только пожары, площадь которых превышала 200 га.

Мы видим, что представленные графики имеют следующую особенность. При высоких температурах график практически выходит на константу, что фактически соответствует подтверждению детектированных точек гарями. Отличие констант, на которые выходят зависимости, определяется, видимо, пропусками при работе алгоритма, который детектирует гари. В области низких температур процент совпадений начинает достаточно быстро падать. При этом на графиках может быть выделен достаточно характерный излом. Спад графика левее излома, видимо, определяется тем, что в этой области температур возникают ошибки детектирования, связанные с ложными тревогами. При этом ход значения в точках левее излома фактически определяет вероятность правильности детектирования пожара при данной температуре.

Таким образом, анализ полученных зависимостей позволяет предложить выбор в качестве порогового значения для работы алгоритма MOD14 – температуры точки «перелома». Выше этого значения следует считать, что ложные тревоги фактически отсутствуют. Ниже данного порода детектированным точкам может приписываться некоторая вероятность ложного детектирования.

Рассмотренные зависимости могут быть построены и проанализированы для разных условий наблюдения и разных лесорастительных условий. При этом выбор точки излома при анализе зависимости, видимо, может производиться автоматически. Это позволит построить алгоритм, адаптированный к различным условиям наблюдений. В тоже время MOD14, понизив пороги, при которых детектируются пожары, одновременно определив уровень достоверности детектирования. Это позволит изменить схему представления данных пользователям и обеспечить их не только информацией о 100% детектируемых пожарах, но и информацией о точках, в которых возможны действия пожаров. Такой подход сможет обеспечить более раннее детектирование пожаров.

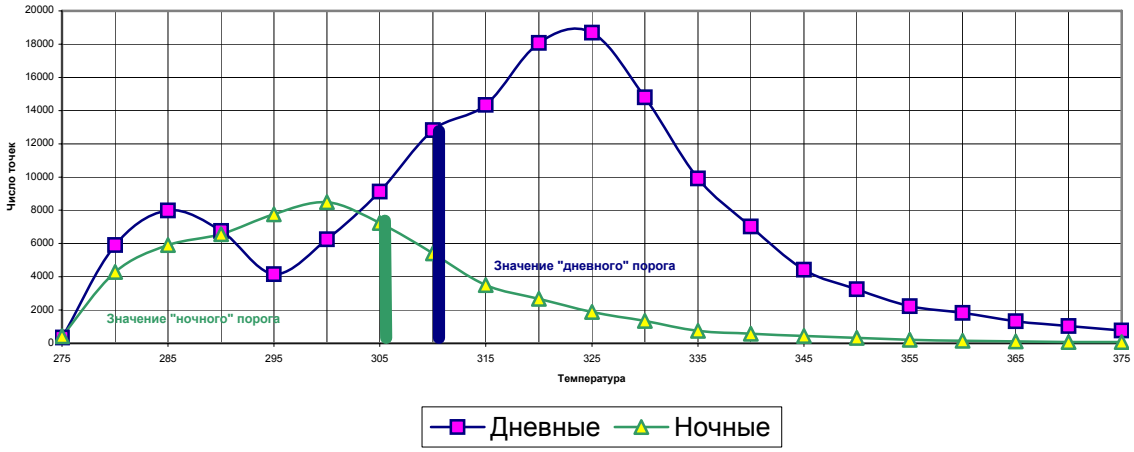


Рис. 1. Распределение по температуре в канале 3.5-4 мкм горячих точек, детектированных алгоритмом MOD14 с пониженным порогом за август-октябрь 2006 года.

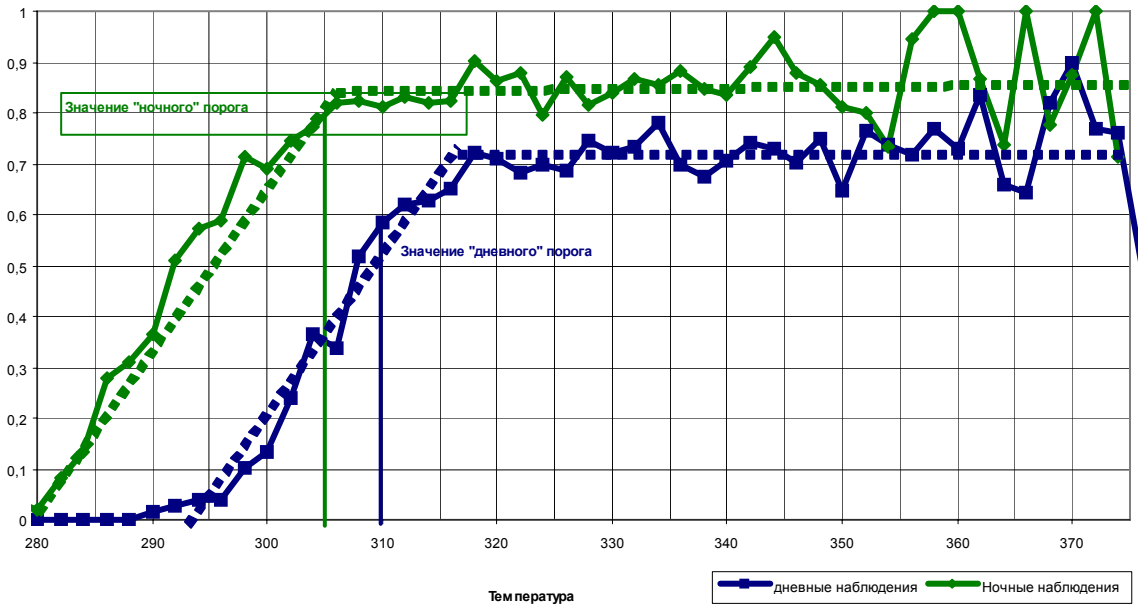


Рис. 2. Зависимость процента совпадений точек «горячих» детектированных с гарями

Литература

1. Justice, C. O, Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., and Kaufman, Y., 2002, The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83:244-262.
2. Yoram Kaufman, Chris Justice. Algorithm Technical Background Document MODIS FIRE PRODUCTS(Version 2 .2 Nov. 10 1998) (EOS ID# 2741)
3. Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е. А. Состояние и перспективы развития Российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей Выпуск 3. Москва: ООО «Азбука-2000». 2006. т. 1. с. 341-350
4. Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Уваров И.А. Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений // Известия вузов: геодезия и аэрофотосъемка, 2006, Вып.2, С. 98-109
5. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A. and Uvarov I.A. Multi-year circumpolar assessment the area burnt in boreal ecosystems using SPOT-Vegetation // submitted to International Journal of Remote Sensing, 2005 (ID № TRES-LET-2005-0098)

6. Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А. Валидация результатов выявления и оценки площадей, поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей - М. "GRANP-Poligraph", 2005 том 2 с. 343-353

SELECTION OF ADAPTIVE THRESHOLDS IN ALGORITHM OF ACTIVE FOREST FIRE DETECTION IN SATELLITE DATA.

A. Galeev, E. Loupian, A. Mazurov, E. Flitman

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Experience of several years' use of MOD14 algorithm has proved its stability and very low rate of false alarms in detection of forest fires in MODIS data. However, in many cases it appears to miss active fires. The present report discusses the possibility of automated algorithm tuning to the conditions of different observation regions. The report suggests automated method for modifying brightness temperature threshold value, which accounts for exclusion of particular pixel from hotspot list in standard implementation of MOD14 algorithm. The method uses MOD14 results, obtained with range of different threshold values, for comparison with fire impact, detected by independent algorithms. The method provides possibility for adaptation of MOD14 algorithm to different observation conditions.

АВИАЦИОННОЕ И КОСМИЧЕСКОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ. ЖЕСТКАЯ КОНКУРЕНЦИЯ ИЛИ МИРНОЕ СУЩЕСТВОВАНИЕ?

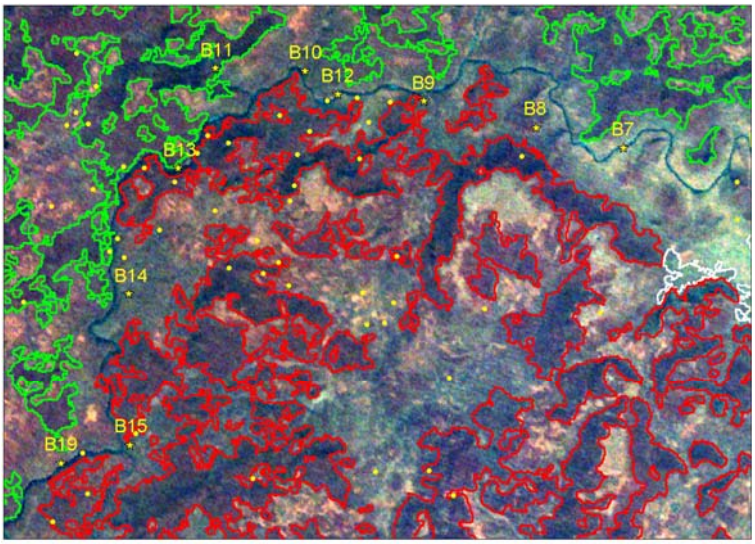
И. М. Данилин[1], Е. М. Медведев[2]

[1]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[2]Компания «ГеоЛИДАР», Москва

Авиационное лазерное сканирование и цифровая аэро- и космическая съемка являются составной частью новейших методов и технологий геоинформатики и цифровой фотограмметрии и находят сегодня применение во многих отраслях, а также в решении различных задач лесоэкологического мониторинга, разрабатываются во многих странах и по показателям точности и экономической эффективности превосходят другие, известные на сегодняшний день, дистанционные методы изучения и измерения параметров земной поверхности и лесного покрова [7, 8, 10-12, 14, 15].

В ряде работ, выполненных ранее в нашей стране и за рубежом, было показано, что точность оценки древесного запаса и биомассы леса (одних из наиболее важных показателей при мониторинге структуры и состояния лесного покрова), в том числе методами воздушной съемки, можно повысить до 3-5% с использованием морфологической классификации деревьев и взаимосвязей между таксационными и морфологическими признаками древостоев [1-6, 9].

Проведенные исследования показывают, что наиболее достоверно и точно, структура и фитомасса лесных насаждений определяются по характеристикам рядов распределения деревьев по основным морфометрическим признакам – диаметру и высоте



р. Бахта 15.09.2000 г. М 1 : 500 000

15 Сибирские северотаежные лиственнично-елово-кедровые леса, местами в сочетании со сфагновыми болотами

16 Сибирские среднетаежные елово-пихтово-кедровые леса, местами в сочетании со сфагновыми болотами и березняками

B7 Локализация наземных пробных площадей и снимков высокого (1 м) разрешения

Рис. 1. Спутниковый снимок Ресурс МСУ-Э среднего (45 м) разрешения на район р. Бахта (63°-64° с.ш., 89°-91° в.д.), классифицированный по преобладающим типам лесного покрова методом максимального подобия

стволов, вертикальной и горизонтальной протяженности крон, которые, в свою очередь, взаимосвязаны и тесно коррелированны во всех случаях [1, 2, 3, 9].

Построение рядов распределения деревьев по морфометрическим показателям традиционно предполагает выполнение время- и трудоемких наземных измерений и перечетов (сплошных или выборочных), которые, во многих случаях, требуют значительных финансовых затрат. Вместе с тем, метод воздушного лазерного сканирования лесного покрова, интегрированный с цифровой аэросъемкой, позволяет выполнять «подеревную» инструментально-измерительную таксацию, изучать горизонтальную и вертикальную структуру лесов, реконструировать ряды распределений деревьев по любому морфоструктурному показателю, вычислять искомые таксационные показатели и лесную биомассу в автоматическом режиме с высокой точностью и эффективностью, на достаточно больших площадях и при минимуме затрат времени и средств.

Средствами пространственной и детальной визуализации изображения лесного покрова и основой для предварительного трассирования маршрутов авиационной лазерной и цифровой аэрофотосъемки и проведения измерений на наземных пробных площадях и полигонах, могут служить спутниковые изображения, полученные в системах Ресурс, Landsat, Ikonos и Quick Bird II, дешифрированных по основным параметрам и характеристикам лесной растительности (рис. 1) [2, 6, 9]. Вместе с тем, точное определение структуры, объемных показателей стволов и фитомассы деревьев и древостоев представляется возможным только по лазерно-локационным данным («лазерным портретам»), интегрированным с цифровыми геотрансформированными аэрофотоснимками, на основе цифровой модели местности (ЦММ) и поля распределения лесного полога, которые генерируются из исходных данных лазерной локации способом фильтрации импульсов сканера, отраженных от земной поверхности и лесной растительности, путем интерполяции точек земли, с последующей триангуляцией точек растительности в системе дифференциального спутникового позиционирования (рис. 2, 3).

При обработке и анализе лазерно-локационных данных и цифровых снимков используются методы математической морфологии, оперирующей понятиями теории множеств и нечетких множеств [13].

Плановая цифровая аэросъемка и цифровая (лазерная) модель лесного полога позволяют получать детальные координаты и морфоструктурные характеристики деревьев средствами трехмерной компьютерной графики и визуализации с использованием

программных продуктов Altexis 2.0, ArcView Spatial & 3D Analyst, или другими, известными на сегодняшний день средствами (рис. 4).

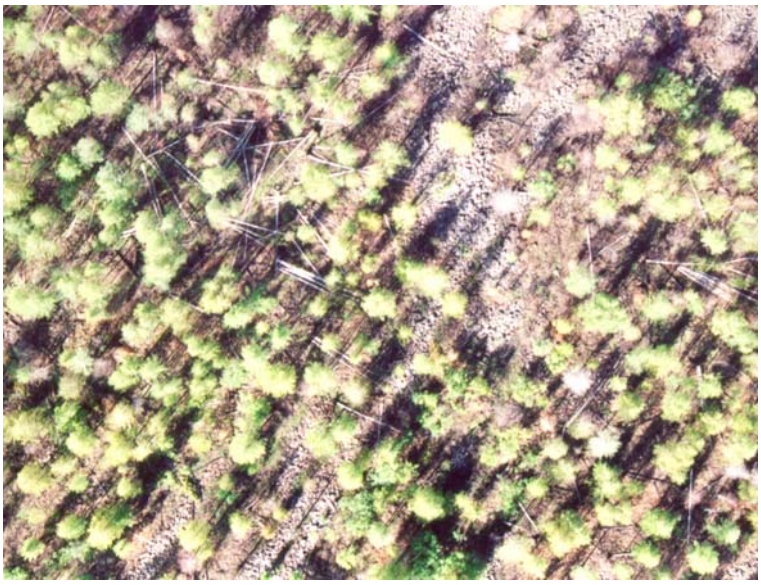


Рис. 2. Цифровой True Color геотрансформированный аэрофотоснимок участка лазерного трансекта в Красноярском крае с реальным геометрическим разрешением на местности 15 см

Результаты наших исследований показали, что морфометрические, объемные и весовые характеристики деревьев и древостоев тесно коррелированны между собой. При этом объемные и весовые показатели деревьев с достаточно высокой точностью аппроксимируются аллометрическими функциями через их морфоструктурные признаки – горизонтальную и вертикальную протяженность крон, диаметры стволов и высоту деревьев (рис. 5).

При лазерном сканировании оценка запасов древесины и фитомассы леса, в каждом конкретном случае сводится к установлению базовых закономерностей изучаемого объекта и определению соотношений между объемами стволов, фитомассой и их высотой и диаметрами стволов и крон, которые, в свою очередь, составляют более 90% объясненной изменчивости различных фракций фитомассы.

Результаты практической апробации метода авиационного лазерного сканирования в сочетании с цифровой аэросъемкой, спутниковой навигацией и геопозиционированием, интегрированных в геоинформационных системах, свидетельствуют о высокой перспективно сти его использования для целей анализа и моделирования структуры лесного покрова, лесоинвентаризации и оперативного эко-логического мониторинга бореальной зоны. Метод позволяет проводить дистанционную таксацию лесов с высокой эффективностью, при минимуме наземных работ и значительной экономии времени и финансовых средств.

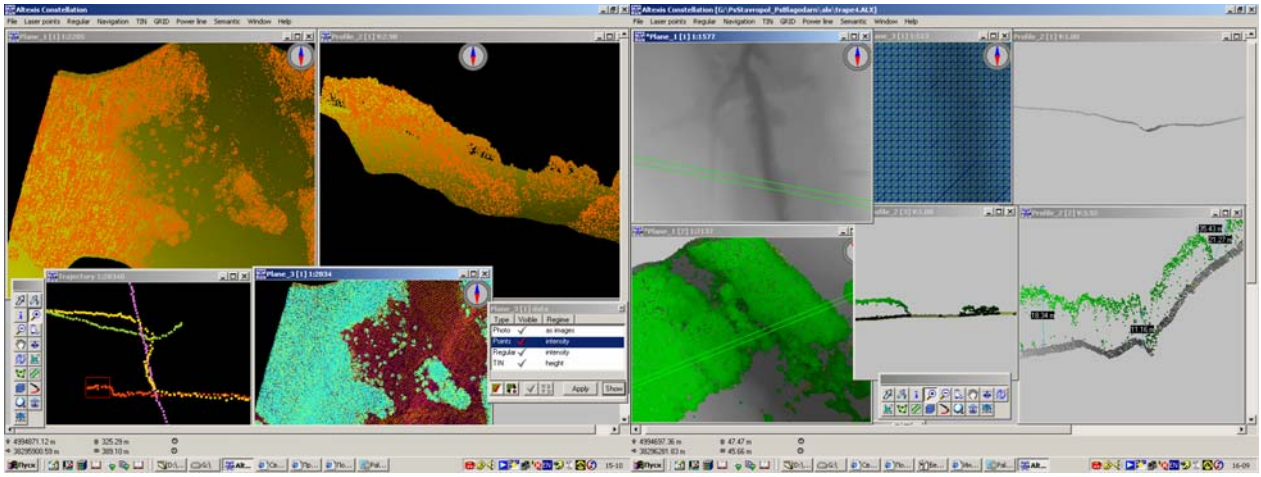


Рис. 3. Визуализация лазерно-локационных данных, выделение коридоров и измерение параметров лесной растительности в плановой и профильной проекциях Altexis 2.0

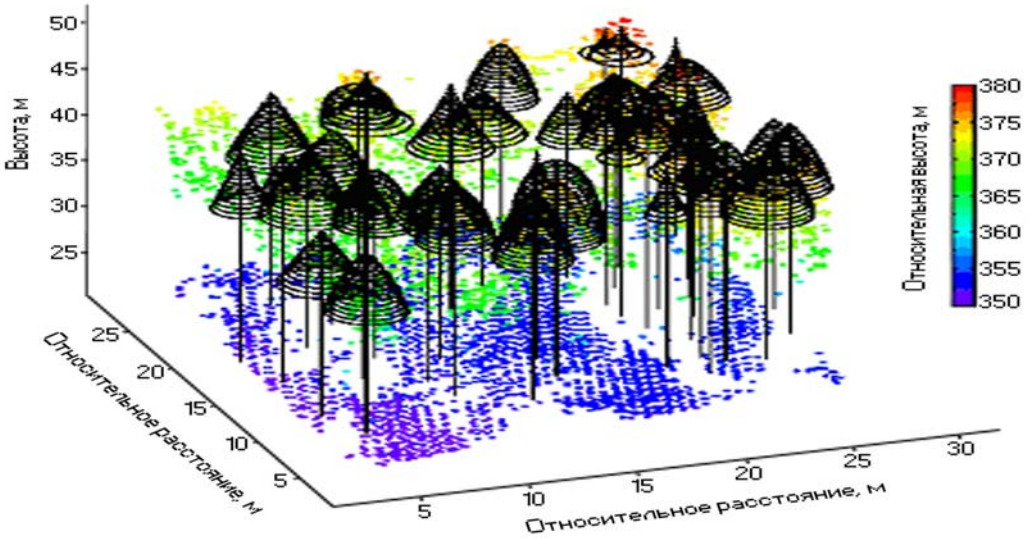


Рис. 4. Трехмерная цифровая реконструкция структуры древостоя по лазерно-локационным данным

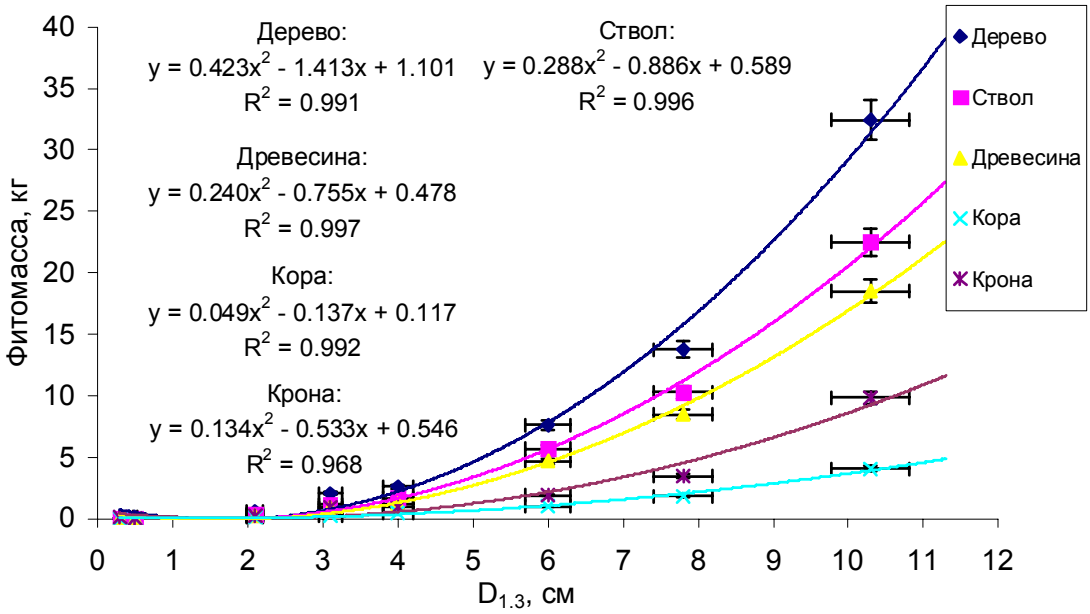


Рис. 5. Изменение фитомассы модельных деревьев лиственницы по фракциям в зависимости от диаметра ствола (лазерно-локационные определения, Южная Эвенкия).

Литература

1. Верхунов П.М. Изменчивость и взаимосвязи таксационных показателей в разновозрастных сосняках. Новосибирск: Изд-во Наука, Сиб. отд-ние, 1975. 206 с.
2. Данилин И.М. Морфологическая структура, продуктивность и дистанционные методы таксации древостоев Сибири: Автореф. дис. докт. с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2003. 35 с.
3. Данилин И.М. Структура и биопродуктивность фитоценоза *Betula platyphylla* Sucacz. на южном пределе бореальных лесов Евразии. География и природные ресурсы, 1992, 3. С. 132-136.
4. Данилин И.М., Сведа Т. Лазерное профилирование лесного полога. Лесоведение, 2001, 6. С. 64-69.
5. Каплунов В.Я. Сопряженность распределений деревьев по поперечнику крон и диаметру стволов. Лесоведение, 2001, 3. С. 63-69.
6. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Academia, 2004. 333 с.
7. Медведев Е.М., Григорьев А.В. С лазерным сканированием на вечные времена. Геопрофи, 2003, 1. С.

5-10.
8. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учеб. пособ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. 229 с.
9. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 392 с.
10. Holmgren J., Nilsson M., Olsson H. Estimation of tree height and stem volume on plots using airborne laser scanning. For. Sci., 2003, 49(3): 419-428.
11. Kraus K., Pfeifer N. Advanced DTM generation from lidar data. Int. Arch. Photogram. Rem. Sens., 2001,Vol. XXXIV-3/W4, pp. 23-30.
12. Maltamo M., Tokola T., Lehikoinen M. Estimating stand characteristics by combining single tree pattern recognition of digital video imagery and a theoretical diameter distribution model. For. Sci., 2003, 49 (1): 98-109.
13. Matheron G. Filters and lattices. *Image Analysis and Mathematical Morphology, Vol. 2 /* J. Serra ed., *Theor. Adv.*, Chpt. 6., Acad. Press, Inc., 1988.
14. Means J.E., Acker S.A., Fitt B.J. et al. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar. Photogram. Eng. & Rem. Sens., 2000, 66 (11): 1367-1371.
15. Remote Sensing of Forest Environments. Concepts and Case Studies / Ed. by M.A. Wulder and S.E. Franklin, Kluwer Acad. Pub., 2003, 519 p.

AVIATION AND SPACE BORNE REMOTE SENSING IN FOREST INDUSTRY. TOUGH COMPETITION OR PEACEFUL CO-EXISTENCE?

I. Dainilin[1], E. Medvedev[2]

[1]V. Sukachev Forest Institute, Krasnojarsk
[2]GeoLIDAR, Moscow

Aviation laser scanning and digital aerial and space survey are the essential part of modern methods and technologies of geoinformatics. They are widely applied for solving various forest and ecological tasks. The questions of applicability of both airborne and spaceborne methods have been discussed. It has been shown that each has its own niche where its use seems to be the most efficient.

МОНИТОРИНГ УСЫХАНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS

Н. В. Девятова, Д. В. Ершов, Н. И. Лямцев, Б. С. Денисов

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

В последние годы происходит интенсивное усыхание еловых насаждений в северо-западной части Европейской России, являющихся одной из основных лесообразующих пород в этом регионе. В 2004-05 годах этот процесс принял массовый характер, охватив массивы еловых лесов в междуречьях Северная Двина-Пинега и Пинега-Вакша.

В докладе приведены результаты исследований информативных возможностей временных серий спутниковых изображений MODIS среднего пространственного разрешения для выявления участков усыхания хвойных лесов Архангельской области в период с 2002 по 2005 гг.

Разработан метод картографирования крупномасштабного усыхания хвойных лесов по спутниковым данным, вызванного комплексным воздействием неблагоприят-

ных климатических и лесопатологических факторов (многолетняя засуха, насекомые-вредители и др.). Метод основан на комплексном анализе динамики спектральных яркостей хвойных лесов в различных спектральных диапазонах с целью выявления изменений, характеризующих деградирующее состояние насаждений, по многолетним данным MODIS среднего пространственного разрешения (250 метров).

Полученные результаты сравнивались с данными авиатаксации ФГУ «Рослесозащита» Федерального агентства лесного хозяйства.

CONIFEROUS FOREST DEGRADATION MONITORING OF EUROPEAN NORTH OF RUSSIA BASED ON SPECTRORADIOMETER MODIS DATA

N. Devyatova, D. Yersov, N. Lyamtsev, B. Denisov

Centre of forest ecology and productivity problems RAS, Moscow

The technique of mapping large-scale degradation coniferous forests of the Archangelsk area based on time-series Modis data during last five years is developed. Damages of forests have arisen because of complex influence adverse climatic and pathological factors caused by insects. Derived thematic products from satellite data to air observation data of Russian Forest Protection Center “Roslesozaschita” were compared.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ MODIS ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕСОВ ПОЖАРАМИ

В. А. Егоров, С. А. Барталев, Е. А. Лупян

Институт Космических Исследований РАН, г. Москва

Использование средств и методов дистанционного зондирования со спутников для мониторинга последствий лесных пожаров обеспечивает охват больших территорий и открывает возможность регулярно и на основе однородных критериев оценивать масштабы связанных с воздействием огня изменений в лесах.

Разработанные к настоящему времени метод и автоматическая технология выявления пройденных огнем участков, основаны на использовании временных серий данных спутниковых наблюдений прибора SPOT-Vegetation. Начиная с пожароопасного сезона 2005 года, технология используется в оперативном режиме в интересах информационного обеспечения службы авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана». Разработанный метод предполагает использование свободно распространяемых стандартных продуктов спутниковых данных S10 SPOT-Vegetation, формируемых по критерию максимума нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI с периодичностью один раз в десять дней. Применение указанных спутниковых данных и разработанной технологии позволило получить многолетнюю (2000-2006) базу данных о пройденных огнем площадях в масштабах России и продемонстрировало достаточно высокий уровень надежности получаемых оценок.

Вместе с тем использование разработанной с применением данных SPOT-Vegetation технологии сопряжено со следующими ограничениями:

- недостаточное полное выделение, и, следовательно, занижение площадей участков, пройденных низовыми лесными пожарами невысокой интенсивности, а также пожаров в травяных экосистемах ввиду использования, сформированных по критерию максимума NDVI исходных продуктов спутниковых данных SPOT-Vegetation;

- невозможность выявления относительно небольших по площади (менее 89 га) участков повреждений лесов пожарами ввиду ограничений пространственного разрешения прибора SPOT-Vegetation (1,15 км);

- относительная низкая (один раз в десять дней) для применения в оперативном режиме мониторинга пожаров периодичность получения информации о пройденных огнем площадях за счет ограничений частоты формирования исходных продуктов спутниковых данных.

Развитие метода оценки пройденных огнем площадей с использованием ежедневных спутниковых данных, получаемых прибором Terra-MODIS с пространственным разрешением 500 м, позволило преодолеть или в значительной мере сократить указанные выше ограничения.

Метод предварительной и тематической обработки данных MODIS включает в себя следующие шаги: выявление данных наблюдений, зашумленных в виду влияния облачного и снежного покрова, восстановление временных рядов данных на основе линейной интерполяции, выявление межгодовых изменений в лесах с учетом межгодовых различий фенологической динамики растительного покрова, а также выявление сопряженных с воздействием огня изменений в лесах за счет привлечения данных об аномалиях радиояркостной температуры.

Развитие метода картографирования пройденных огнем площадей и использование ежедневных данных спутниковых наблюдений MODIS позволило улучшить достоверность получаемых результатов, а также увеличить их временное разрешение по сравнению с оценками последствий повреждений лесов пожарами, основанных на продуктах данных спутникового прибора SPOT-Vegetation.

Преимущества метода были продемонстрированы на тестовом участке в Центральной Сибири с использованием данных MODIS, полученных в период 2003-2006 годов. Использование данных MODIS позволило выявить поврежденные пожарами участки, не выявляемые по данным SPOT-Vegetation, а рост оценок пройденных огнем площадей составил от 12,9 до 56,5% в зависимости от типов поврежденной растительности.

USING TERRA-MODIS SATELLITE DATA FOR THE FOREST BURNT AREA MAPPING

V. Egorov, S. Bartalev, E. Loupian

Space Research Institute (IKI) RAS, Moscow

MODIS data series provide an opportunity for regular burnt area mapping in the Russian forest on national level. The study concerns an automatic burnt area mapping method, which is based on Terra/Aqua-MODIS satellite daily data. As the result a burnt area database for the period 2003-2006 was obtained for the Central Siberia test site.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ FEATURE ANALYST И LIDAR ANALYST

И. С. Ермошкин

ООО «ДАТА+», г. Москва

Поддержание актуальности геопространственной информации на сегодняшний день составляет порядка 60% стоимости работ связанных с ГИС. Обновление геопространственной информации в базах данных осуществляется, в том числе, при помощи интерпретации данных дистанционного зондирования Земли высокого и сверхвысоко-

го разрешения. Модуль Feature Analyst, разработанный компанией Visual Learning Systems (VLS) для ERDAS IMAGINE и ArcGIS является мощным средством для автоматического извлечения информации из данных дистанционного зондирования, которое можно использовать для любого типа снимков, включая панхроматические, многозональные и гиперспектральные данные.

Feature Analyst предоставляет экспертам в области дешифрирования данных дистанционного зондирования мощный инструмент, позволяющий автоматизировать процесс выделения двухмерных и трёхмерных объектов по снимкам или сканированным картам. Такие объекты, как дороги, здания, водные объекты, растительность, проницаемые/непроницаемые покровы, а также разделённые по типу землепользования объекты, легко классифицируются в автоматическом режиме при помощи инструментария Feature Analyst. Алгоритм классификации использует как множественные пространственные признаки (размер, форма, текстура, структура, пространственные связи, тени и пр.), так и спектральные особенности стереоскопических или моноскопических изображений. На выходе пользователь получает векторный файл в формате ESRI Shape. Этот модуль существенно упрощает работу по извлечению информации из ДДЗ и уменьшает время, необходимое для обработки снимков, что также ведёт к сокращению производственных расходов без потери качества и точности результатов.

Модуль LIDAR Analyst необходим тем, кто занимается обработкой данных лазерного сканирования. LIDAR Analyst полностью автоматизирует процесс извлечения объектов (поверхности, зданий, растительности) из данных лазерного сканирования.

LIDAR Analyst также даёт возможность полностью автоматического выделения растительных покровов, в частности – древесной растительности. Деревья определяются как точечные объекты, а лесные массивы дешифрируются как полигоны. В автоматическом режиме присваиваются атрибутивные значения высоты, площади кроны и диаметра ствола.

Выделение деревьев и лесных площадей

Исходные данные: Первый отражённый луч (опционально), Последний отражённый луч (обязателен), Поверхность «открытой почвы» (обязательно), Здания (обязательно)

Тип выходных данных: Точки (деревья), Полигоны (участки леса), Атрибутивная информация (максимальное расстояние между деревьями, минимальный размер полигона для участков леса, высота дерева, площадь кроны, диаметр ствола).

В докладе демонстрируются примеры применения алгоритмов автоматического дешифрирования растительности по данным дистанционного зондирования высокого разрешения и примеры построения трёхмерных моделей местности по данным воздушного лазерного сканирования.

SPECIALIZED MODULES OF THE AUTOMATIC FEATURE ANALYST AND LIDAR ANALYST

I. Ermoshkin

DATA+, Moscow

In the report examples of the application of automatic vegetation interpretation algorithms on the base of high resolution remote sensing data and examples of the three-dimensional relief models construction according to the data of air laser scanning are demonstrated.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОЦЕНКИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ВОДЛОЗЕРСКИЙ» НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ QUICKBIRD

В. М. Жирин[1], А. В. Шаталов[1], С. П. Эйдлина[1], Ю. С. Галкин[2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва
[2]Московский государственный университет леса, г. Москва

На примере Национального парка (НП) «Водлозерский» рассмотрена возможность оценки деструктивных изменений в еловых насаждениях, пострадавших сначала от ветровала, а затем в результате массового размножения короеда типографа.

Детальное изучение влияния на лесную среду деструктивных изменений лесного покрова требует проведения специальных исследований.

Достоверное обновление материалов учета лесов и определения ущерба насаждениям требует в качестве технической основы не только космических снимков, но и материалов лесоустройства и наличия ГИС.

Общая схема работ по оценке деструктивных изменений лесного покрова в результате ветровалов и усыхания деревьев приведена на рисунке 1.

Рис. 1. Схема оценки деструктивных изменений на основе материалов космической съемки

На первом этапе, используя данные дистанционного зондирования, получают сведения о ветровалах. Последующая процедура предусматривает классификацию и дешифрирование снимков (маскирование облаков, теней) [1]. Далее производится последующая коррекция контуров ветровалов и сухостоев: посредством ГИС удаляются ошибочные пикселы (болота, лес по болоту, мелколесье и др.) Привлекая в дальнейшем

слой планово-картографических материалов цифровой картографической базы данных лесоинвентаризации определяются площади поврежденных (ветровал и сухостой) участков в каждом выделе. Используя данные по запасу и преобладающим породам, в базе данных пересчитывается потери уже по запасу в каждом выделе. На основе этих данных составляется карта потерь древесины.

При выполнении работ использовался космический снимок высокого разрешения QuickBird. Для иллюстрации приведен пример определения потерь древесины от накопления сухостоя и вывала деревьев в квартале 40. Здесь сосредоточены насаждения с преобладанием трех пород: ели, сосны и березы. Общая площадь квартала составляет 614 га, в том числе площадь, покрытая лесом равна 602 га. Общий запас насаждений до ветровала и последующего усыхания деревьев от воздействия короеда типографа был равен 104827 м^3. Таксационные данные, а также характеристика повреждений в результате деструкции лесного покрова, показывают, что в квартале 40 общая площадь групп и куртин сухостоя составляет более 78 га, а общая площадь участков ветровала немного превышает 56 га, что в сумме составило 22% от покрытой лесом площади квартала. Аналогично потери древесины в результате воздействия короеда типографа составили более 14066 м^3, объем поваленной древесины достиг 10302 м^3, что в сумме составило почти 24369 м^3 или 23% от первоначального запаса древостоев, установленного при лесоустройстве национального парка для данного квартала. Анализ данных, показывает, как и следовало ожидать, что деструкция затронула в основном старовозрастные насаждения с преобладанием ели. Более 95% площади сухостойного леса и более 97% площади ветровала приходится на еловые насаждения. В свою очередь 74% площади сухостоя и 84,6% ветровала сосредоточено в еловых насаждениях 10-12 классов возраста. Распределение потерь запаса древесины происходит сходным образом: на долю насаждений 10-12 классов возраста приходится 76,7% запаса сухостоя и 85,7% от общего запаса поваленных деревьев.

Пространственное распределение насаждений квартала с указанием размера потерь древесины в процентах от первоначального запаса показано на рис. 2. Видно, что южная часть квартала значительно пострадала (30-35% потерь древесины) от ветровала и последующего усыхания ели.

После анализа последствий деструктивных изменений необходимо проведение корректировки статистических данных учета лесного фонда.

Наложение участков ветровалов на карту, характеризующую пространственное распределение типов леса, позволяет сделать прогноз относительно тенденции лесовозобновления на месте погибших насаждений. Участки ветровала приурочены к двум группам типов леса: зеленомошной и мшистой. Следовательно, на участках ветровала при естественном лесовозобновлении в ближайшие десятилетие произойдет смена пород: вместо бывших еловых образуются насаждения с преобладанием лиственных пород (осины, березы).

Литература

1. Шаталов А. В., Жирин В. М., Сухих В. И., Эйдлина С. П., Шалаев В. С. К оценке повреждения лесов Национального Парка «Водлозерский» по космическим изображениям QuickBird //Водлозерские чтения: естественно научные и гуманитарные основы природоохранной и просветительской деятельности НП «Водлозерский». Материалы научно-практической конференции, Петрозаводск, 20-21 апреля 2006 г., с. 102-106.

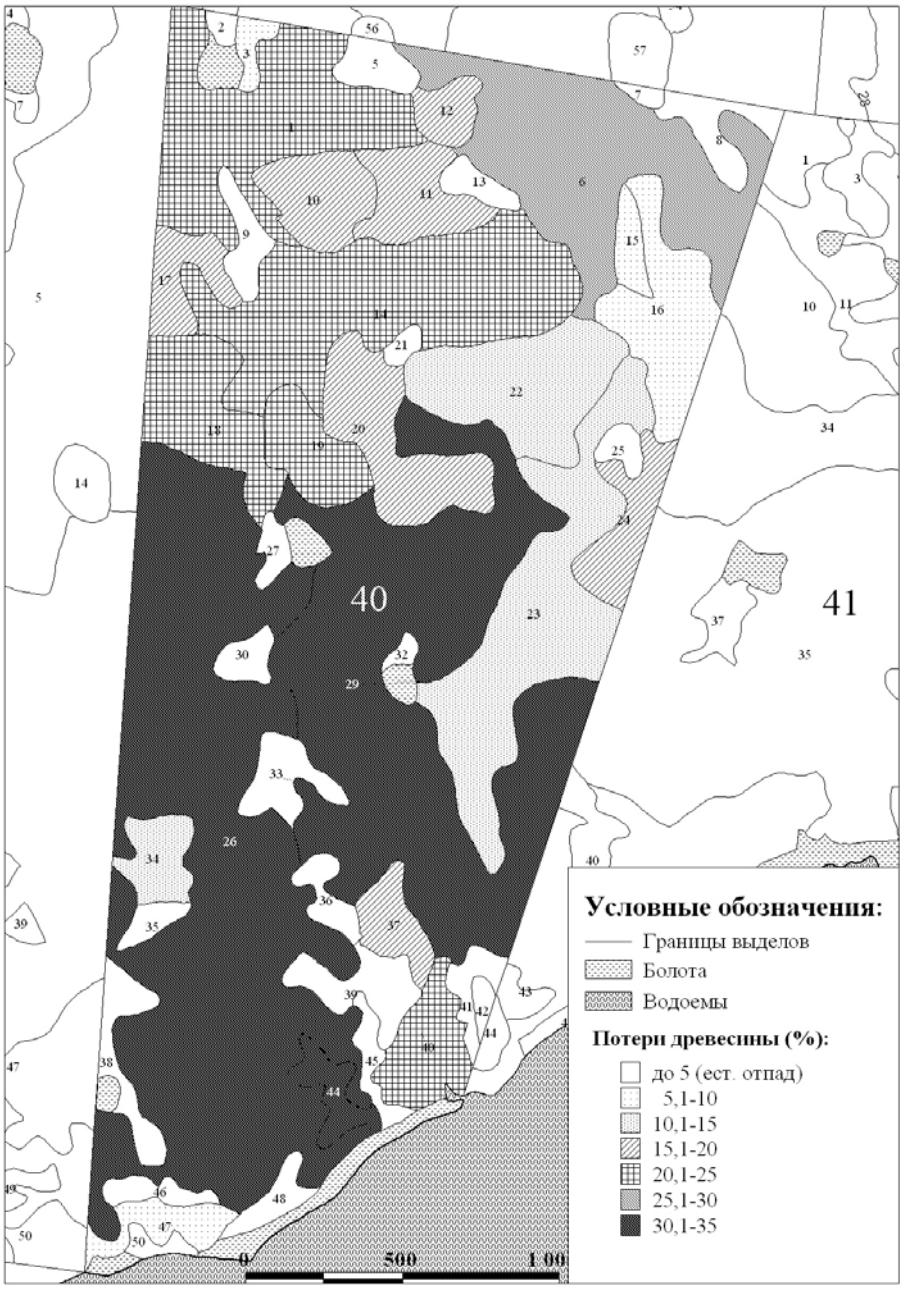


Рис. 2. Потери древесины в результате ветровала и накопления сухостоя
в различных выделах квартала 40 НП «Водлозерский»

POSSIBILITY OF DESTRUCTIVE CHANGES EVALUATION IN THE FIR STANDS OF NATIONAL PARK "VODLOZERSKIY" ON THE BASIS OF QUICKBIRD HIGH RESOLUTION SPACE IMAGES

V. Zhirin[1], A. Shatalov[1], S. Eydlina[1], Yu. Galkin[2]

[1]Center of the forest ecology and productivity problems (Russian Academy of Sciences), Moscow
[2]Moskow State Forest University, Moscow

Based on the example of the National Park "Vodlozerskiy" it is examined the possibility of destructive changes evaluating in the fir stands.

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ СТИХИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГИС

М. А. Ильючик, Ю. А. Кулагин

РУП «Белгослес», г. Минск

В лесном фонде часто происходят различного рода изменения, связанные с повреждением лесных насаждений, вызванных воздействиями природно-климатических факторов окружающей среды (засухи, ураганные ветра, снежные бури и др.), а также воздействиями антропогенных факторов в результате хозяйственной деятельности лесхозов (вырубка лесов, их посадка, уход за лесом и т.п.).

После воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды на лесные насаждения необходимо в кратчайшие сроки получить достоверную информацию о протекающих изменениях в лесном фонде для принятия необходимых мер по уборке поврежденных древостоев.

Решение данной задачи без использования материалов дистанционного зондирования лесов и геоинформационных систем очень затруднительно. ДДЗ и ГИС, необходимые для создания и обновления цифровых картографических материалов, все более масштабно входят в практику ведения лесного хозяйства.

Развитие методов использования материалов космических съемок для целей лесного хозяйства Беларуси началось с 1999-2000 годов, и было вызвано сильными ветровалами и массовым усыханием еловых насаждений. В 2002 году Министерством лесного хозяйства была приобретена станция приема космической информации «УниСкан», установленная фирмой ИТЦ «СканЭкс» (Москва) на предприятии РУП «Белгослес» (Минск) для получения космических данных со спутников Метеор-3М и Terra/Modis. Получаемые материалы не в полной степени позволяли решать задачи, связанные с оценкой состояния лесов Беларуси из-за их низкой разрешающей способности, поэтому для отработки методик обработки ДДЗ и определения повреждений лесных насаждений дополнительно использовались данные с других спутников: Landsat 7ETM+, Terra/Aster, IRS и другие.

Для отработки технологии оценки последствий ветровалов лесных насаждений, а также торфяных пожаров нами использовались данные космической съемки, полученные с различных спутниковых систем и за разный временной период. Это было обусловлено необходимостью сопоставления состояния растительности до и после повреждений.

Объектами исследований являлись насаждения, поврежденные ветровалом в Городечненском лесничестве Пружанского лесхоза в июле 2004 году, а также лесная растительность болотного комплекса «Ельня», входящего в состав лесного фонда территории Миорского, Дисненского, Германовичского лесничеств Дисненского лесхоза, поврежденная лесным пожаром в сентябре 2002 года.

Для решения поставленной задачи на территорию ветровала были подобраны космические снимки Terra/Aster на дату съемки 23.09.2003 г., Метеор-3М 8.05.2003 (до ветровала) и Метеор-3М на дату 18.07.2004 г. (после ветровала), а также использованы материалы аэрофотосъемки масштаба 1:15000 до ветровала и 1:5000 после ветровала. На территорию торфяного лесного пожара подобраны снимки Landsat 7ETM+ 2.05.2000 г., Terra/Aster 8.05.2002 г., Метеор-3М на дату съемки 19.07.2002 г. (до пожара) и снимок Метеор-3М на дату 1.06.2003 г. (после пожара).

На данные территории обследований были подготовлены материалы картографических и атрибутивных баз данных из ГИС «Лесные ресурсы» (Formap).

Технологическую цепочку по оценке ущерба от стихийных воздействий в лесном фонде на основе материалов аэрокосмической съемки и геоинформационных систем можно представить в следующей последовательности выполняемых работ, связанных с оценкой повреждений лесной растительности:

1. Определение территории повреждения лесных насаждений;

2. Прием космических снимков на территорию, подверженную стихийным бедствиям, а также подбор снимков из архивных данных на исследуемую территорию до повреждения;

3. Обработка космических снимков (аэрофотоснимков) и увязка их с цифровыми лесными картами;

4. Дешифрирование снимков и определение площадей лесных насаждений, поврежденных в результате природных аномалий;

5. Составление ведомости поврежденных участков (выделов) и определение запасов поврежденных древостоев (материально ресурсная оценка).

На последнем этапе нами выполнялась сравнительная оценка использования различных данных дистанционного зондирования (аэрофотосъемки и космической съемки) при оценке состояния лесных насаждений, поврежденных ураганом.

Для выполнения оценки поврежденных насаждений определяется район бедствия (лесхоз, лесничество) с его географическими координатами. На этот район выполняется заказ на получение новой съемки со спутника, при необходимости и аэрофотосъемки. Также подбираются материалы съемки архивных данных.

Далее выполняется обработка космических и аэрофотоснимков с использованием новейших технологий, основанных на использовании компьютерной техники и программных пакетов по обработке данных дистанционного зондирования. При этом материалы аэрофотосъемки переводятся в цифровой формат с применением сканерной техники.

При обработке космических снимков выполнялись – радиометрическая и геометрическая коррекция снимков, географическая коррекция (трансформирование снимка в нужную проекцию и систему координат), синтезирование с использованием комбинации различных спектральных каналов, кадрирование и другое. Для обработки космических снимков использовалось программное обеспечение Scan Viewer, ScanEx Image Processor (ИТЦ «СканЭкс», Москва).

С использованием ГИС-технологий (программного пакета ArcView GIS) выполнялась увязка материалов цифровой картографии отдельных векторных слоев, взятых из ГИС «Лесные ресурсы», конвертированных во внутренний формат ArcView, и материалов космической и аэрофотосъемки с приведением их к единому масштабу в единой географической системе координат и проекции.

После всей обработки материалов аэрокосмической съемки выполнялось контурное дешифрирование в интерактивном режиме с выделением границ поврежденных насаждений, как по снимкам космической съемки, так и по аэрофотоснимкам.

На выборки кварталов исследования с использованием ГИС «Лесные ресурсы» составлена ведомость таксационной характеристики лесных насаждений, на основании которой выполнялась оценка поврежденных древостоев с определением процента повреждения площади и запасов поврежденной древесины по результатам дешифрирования, как с использованием космических снимков, так и аэрофотоснимков.

На последнем этапе выполнялось сравнение полученных результатов с использованием различных данных дистанционных съемок.

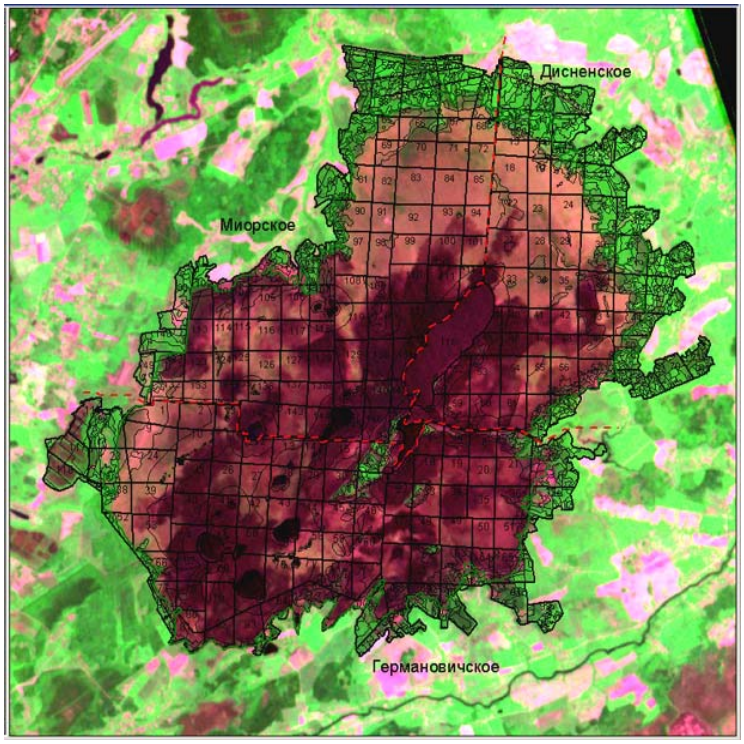


Рис. 1 Фрагмент космического снимка Метеор-3М (после пожара) в увязке с повыдельной картографической сетью

По результатам выполненной работы в получении сравнительной оценки сопоставления дешифрирования участков насаждений, поврежденных ураганами, можно сделать вывод, что общие результаты по определению площади повреждения на квартале, как по космическим снимкам, так и по аэрофотоснимкам очень близки, хотя при сопоставлении данных дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков результаты по отдельным таксационным выделам отличаются. Во-первых, это связано с разрешающей способностью тех и других снимков. Аэрофотоснимки обладают более высокой детальностью и более точными результатами дешифрирования. Нужно отметить, что развитие космических средств сканерной съемки очень сильно растет, и в настоящий момент возможно получение снимков с разрешением 0,7-1,0м (QuickBird, Ikonos), которые практически сопоставимы по детальности с материалами аэрофотосъемки, а методы обработки космических снимков более автоматизированы, по сравнению с методами обработки аэрофотоснимков.

Сопоставление полученных результатов показывает, что материалы космической съемки могут эффективно применяться при оценке состояния лесов, подверженных природным аномалиям (ураганам, засухам, пожарам и т.п.), что позволит получать оперативные сведения о предварительном ущербе. При этом снимки должны иметь пространственное разрешение порядка 10-15м для условий Беларуси с учетом интенсивного ведения лесного хозяйства. Необходимо отметить также и тот факт, что оценка последствий пожара, проведенная на территории лесоболотного комплекса «Ельня» на площади более 20 тыс.га (>200 км^2), где площадь пожара составила более 12 тыс.га (>120 км^2), без материалов дистанционного зондирования, практически невозможна по причине труднодоступности территории, а также большой площади обследуемого пожара.

На рисунке 1 представлено болото «Ельня», лесная растительность которого повреждена пожаром. Площади пожара представлены темно-коричневым цветом. По результатам выполненных работ была создана карта площадей территории болота, пройденных пожаром (рис. 2).

На основании результатов выполненной работы можно сделать вывод о значимости методов дистанционного зондирования Земли, а также о перспективах использования космической информации в интересах лесного хозяйства, что позволит получить определенный экономический эффект при внедрении современных технологий их обработки и анализа.

Научные основы системы компьютерной обработки многозональных космических снимков и аэрофотоснимков дают возможность оперативного картирования площадей лесов, поврежденных пожарами, ветровалами, буреломами и другими воздействиями, происходящими на территории лесного фонда Беларуси.

Таким образом, информация, полученная на основе данных дистанционного зондирования, позволяет совершенствовать технологии мониторинга лесов в целях оптимизации лесопользования и сохранения ресурсных и экологических функций леса.

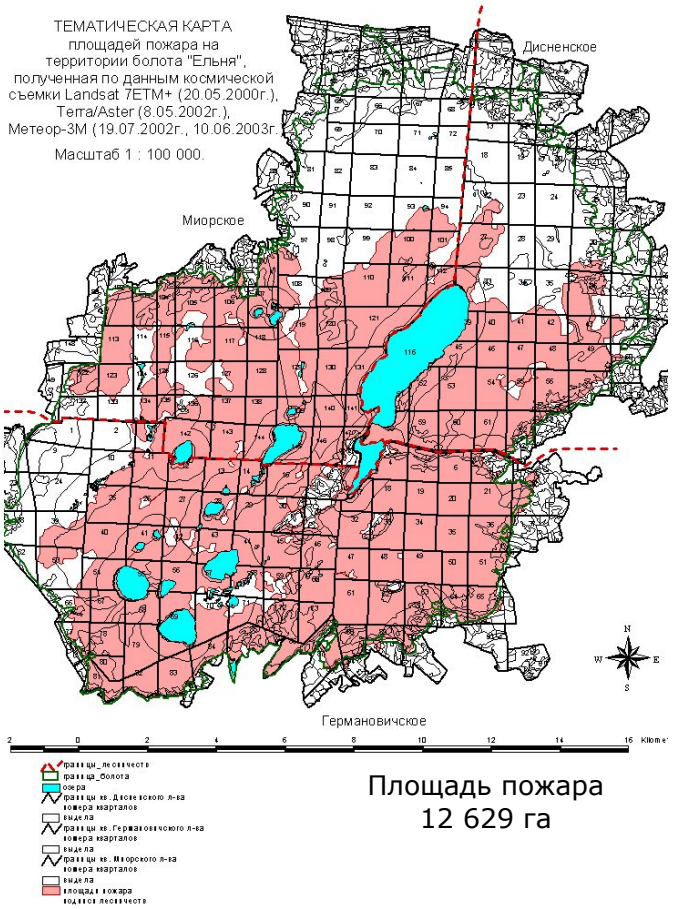


Рис. 2 Карта площадей пожара на территории болота «Ельня»

THE ESTIMATION OF DAMAGE IN FOREST FUND OF THE REPUBLIC OF BELARUS CAUSED BY ELEMENTAL NATURAL FACTORS BASED ON THE REMOTE SENSING AND GIS DATA

M. Ilyuchyk, Yuri Kulagin

«Belgosles», Belarus, Minsk

The analysis of the effectiveness of using of some GIS as well as remote sensing applications has been carried out. Such new information applications are aimed at forest damage estimation that is a result of influence of different natural-climatic factors of the environment. The estimation has been done on the example of windstorm forest damage area as well as area of swamp forest vegetation losses due to forest peat fires.

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ЛЕСНЫХ ВЫРУБОК В ВОСТОЧНОЙ ПРИБАЛТИКЕ ПО 20-ЛЕТНЕМУ РЯДУ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

У. Петерсон[1], Ю. Буденкова[2], А. Кивисте[2], Я. Лийра[3]

[1] Тартуская Обсерватория, Тыравере, Эстония
[2] Эстонский Сельскохозяйственный Университет, Тарту, Эстония
[3] Тартуский Университет, Тарту, Эстония

Недавние политические и экономические изменения в Восточной Прибалтике открыли доступ к тем лесам, которые теперь находятся в частной собственности, и с середины 1990-ых годов началась их крупномасштабная эксплуатация. Согласно общественному мнению леса в данном регионе подвергаются чрезмерной вырубке.

Целью данного исследования было определение количества изменений в лесах Восточной Прибалтики в течение периода начиная с конца 80-ых и до начала 2000-ых годов.

Леса в данном регионе относятся к бореальным и полубореальным. Сплошная рубка являлась главным способом использования леса в последние десятилетия, что и привело к мозаичности лесов в регионе.

В данном исследовании были использованы снимки спутника Landsat, базы данных лесничеств и аэроснимки, чтобы сравнить эффекты сплошной рубки на образцах ландшафтов в Восточной Прибалтике, включая территорию Эстонии, Северной Латвии и западную часть Псковской и Ленинградской областей в России. Набор данных состоял из снимков конца 1980-х, середины 1990-х и 2005 года. Снимки были сделаны поздней зимой – в нетрадиционный для картографирования леса сезон. Зима в бореальных и полубореальных широтах это сезон, в который на спутниковых изображениях виден наибольший контраст между двумя преобладающими классами – «лес» и «не лес». Предыдущие исследования показали, что картографирование леса с зимних снимков спутника даёт довольно точные результаты, с общей точностью, превышающей 90 %, если сравнивать с границами леса, полученными с аэроснимков.

Методика обработки снимков включала два отдельных шага: 1) генерирование карты леса и 2) картографирование сплошной рубки. Классификация спутниковых снимков была произведена при помощи аэроснимков и национальной основной карты векторного формата в масштабе 1:10 000 для Эстонии, национальной основной карты Латвии в масштабе 1:50 000 и топографических карт в масштабе 1:50 000 и 1:100 000 для России. Лес был определён как область с древесным покровом в 30 % или более с минимальной площадью в 0.5 га.

Для картографирования сплошной рубки был использован метод разности снимков [1]. Используя программное обеспечение Idrisi, снимки были проанализированы отдельными парами по датам и результаты были соединены в окончательную карту вырубок.

Административные районы были использованы как единицы анализа для оценки сплошной рубки, так как они имеют четкие и относительно устойчивые, хотя и в основном неестественные границы. Административные районы также имеют сопоставимый размер в трех соседствующих странах из-за общих периодов в недавней истории.

Результаты показали, что административные районы широко отличались по площади леса, по количеству и плотности сплошных рубок. Общая точность классификации «лес» и «не лес» была более чем 90 %. Вырубки были закартографированы, используя метод разности снимков, так же с более чем 90%-ой точностью.

Первая очевидная тенденция это в общем увеличивающееся количество областей сплошных рубок в течение 20-летнего периода времени в лесах во всех типах собственности. Приблизительно 11 % леса было вырублено в целом, или 0.6 % ежегодно. Вторая тенденция – это то, что общие нормы и примеры сплошных рубок в течение прошлых двух десятилетий начиная с 1985 года были довольно схожи в Латвии и в Эстонии. Ежегодная норма вырубок увеличилась в этих двух странах и в частных и в принадлежащих государству лесах, если сравнивать ежегодные средние нормы конца 1980-х и начала 2000-го года. Если в принадлежащих государству лесах норма вырубок осталась более консервативной, то в лесах, находящихся в частном владении, вырубки увеличились в 5 - 7 раз. Ежегодная средняя норма сплошных рубок не превысила 1 % от общей площади лесов в большинстве областей, таким образом все еще поддерживается период ротации в сто лет. Леса в изученных областях северо-запада России были вырублены в меньшей степени, чем в соседних Балтийских государствах, так как скорее всего места вырубок зависели от имеющейся сети дорог. На динамику лесного покрова в частных лесах Эстонии и Латвии в последнем десятилетии XX века повлияли низкие нормы вырубок в течение предыдущих четырёх десятилетий и упадок в экономике сельского хозяйства после распада Советского Союза.

Литература

1. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K. and Muys B., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 1565-1596.

FOREST CLEARCUT AREAS IN THE EASTERN BALTIC REGION ESTIMATED WITH A TIME SERIES OF SATELLITE IMAGES

U. Peterson[1], J. Budenkova[2], A. Kiviste[2], J. Liira[3]

[1]Tartu Observatory, Tartumaa, Estonia
[2]Estonian University of Life Sciences, Insyitute of Forestry and Rural Engeneering, Tartu, Estonia
[3]Tartu University, Tartu, Estonia

Landsat late winter images covering an area in Estonia, Latvia and Russia were used to classify forest from non-forest and to examine forest area change resulting from clearcutting. The data set consisted of images from mid-late 1980s (1985-1987), mid 1990s (1996) and from year 2005. Approximately 11% of the forest area was disturbed by clearcutting, translating into an annual disturbance rate of 0.6 %. The general rates and patterns of clearcutting were rather similar in Estonia and in Latvia but the cutting rate was more modest in Russia.

ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБОВ ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА MODIS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

А. А. Романов

Политехнический Институт «Сибирский Федеральный Университет», г. Красноярск

В данной работе предлагается подход к решению задачи оперативной оценки экологических и экономических ущербов от лесных пожаров (ЛП), а также определение оптимальных технологий их ликвидации. В качестве решения предлагается проект

распределенной информационной системы, входными данными для которой являются радиометрические данные сканера MODIS (КА TERRA). Результатом работы системы является структурированный информационный отчет для принятия управленческий решений по ликвидации крупных лесных пожаров (рисунок).

Рисунок. Функциональная схема распределенной информационной системы

Основной целью предлагаемой системы является минимизация экономических затрат посредством выбора оптимальной технологии тушения ЛП.

Процесс тушения лесного пожара состоит из ряда последовательно проводимых тактических операций, самой трудоемкой из которых является стадия локализации, связанная с обходом замкнутого контура ЛП. Поэтому, в данной работе под технологией тушения ЛП подразумевается сочетание метода локализации с набором технических средств. Также, все детектируемые системой пожары рассматриваются в расчетных моделях как низовые, с произвольной эллиптической формой. В качестве оптимальной предлагается технология, для осуществления которой экономические затраты минимальны по сравнению с применением других для ликвидации конкретного ЛП.

Структура информационной системы состоит из трех функциональных блоков, каждый из которых работает в собственном информационном поле. Обмен данными организовывается посредством серверной части, реализованной на базе SQL-сервера.

Блок системы I, отвечающий за выявления очагов лесных пожаров, представляет собой реализацию алгоритмов распаковки данных MODIS уровня Level1B, и их обработки на предмет температурных аномалий. В качестве базовых для детектирования очагов возгораний используются 21-ый и 31-ый спектральные каналы сканера (4 и 11 мкм). Не высокое, на первый взгляд, пространственное разрешение этих каналов обеспечивает достаточно широкую полосу обзора в 2300 км. А высокий, по сравнению со сканером AVHRR (КА NOAA), порог насыщения (500 против 300 К), и 12-ти битное квантование сигнала, позволяют более достоверно регистрировать даже сравнительно малоразмерные пожары (0,6 га). Выделение алгоритмов распаковки в отдельный блок объясняется их высокой требовательностью к вычислительным ресурсам (в силу больших объемов радиометрических данных).

Результатом работы блока детектирования является набор табличных данных (серверная часть), содержащий количественную оценку исследуемой территории на предмет наличия лесных пожаров, с указанием координат соответствующих «пожарных» пикселей. Эти данные являются входными для логического Блока II системы: определение площади каждого лесного пожара, действующего на момент прохода КА; оценка экологического и экономического ущербов; выбор технологии тушения.

Функциональный блок III формирует структурированный отчет, содержащий информацию о пожарной обстановке исследуемой территории; сведения о принадлежности ЛП к базе тушения, а также возможные варианты их ликвидации с учетом наличия технических средств.

Серверная часть содержит наборы лесотаксационных данных, а также сведения о технических средствах тушения. В таблице приведен пример содержания макета лесотаксационных данных, используемых в системе.

Таблица

Лесотаксационные данные, используемые при расчетах в системе

№	Содержание данных
1	Информация общего назначения (характеристика квартала, года актуализации данных, принадлежности к административному району)
2	Преобладающая порода, тип леса, бонитет
3	Запас леса и подстилки на гектаре
4	Цена крупной, средней, мелкой и дровяной древесины на корню с учетом породы в руб/м^3

В настоящее время сканер MODIS является одним из основных источников многоспектральных радиометрических данных о состоянии всей территории края и России в целом. Тем не менее, при всех технических достоинствах его аппаратуры, существует ряд недостатков, сказывающихся на интерпретации. В частности, смещение одних и тех же исследуемых пикселей при каждом последующем скане может достигать нескольких сотен метров (для 1км разрешения). Это особенно существенно при детектировании температурных аномалий, таких как лесные пожары. Поэтому, в предлагаемой системе оценка экологических и экономических ущербов основывается на данных “первых сканов”, зафиксировавших пожар. Дальнейшее развитие ЛП моделируется согласно законам распространения низового лесного пожара (Доррер Г. А.), при этом скорость распространения огня прогнозируется из полученной методом наименьших квадратов зависимости экспериментальных данных и параметров по модели Ротермела. В расчетах (в качестве параметров нейросети) учитывается несколько вариантов скорости ветра – как основного фактора. В результате на выходе предлагается развитие нескольких сценариев по прогнозу на тушение в зависимости от скорости принятия мер по ликвидации ЛП (доставка техники и бригад).

Экологический ущерб предлагается оценивать в количественном выражении газовых выбросов продуктов пиролиза, образовавшихся в результате ЛП, а также в количестве сгоревшего кислорода. Зависимость количества биомассы, сгорающей в экосистеме в результате лесных пожаров пройденных на рассматриваемой территории, выражается соотношением:

$$Mi = \int_{Si} Pi(x,y) \sum_{i=1}^{n} S_i a_i b_i dxdy ,$$

где Mi – количество сгоревшей биомассы в результате i-того пожара; P_i – среднее количество органического вещества на единицу площади в экосистеме, г сухого вещества/м^2; S_i – площадь i-того ЛП; a - доля лесных горючих материалов от общей биомассы P_i; b – полнота сгорания лесных горючих материалов; n – количество ЛП. Используя коэффициенты выделения Стокса k, равные 445 г/кг для двуокиси углерода

(CO_2), 45 г/кг для окиси углерода (CO), 4.55 г/кг для метана (CH_4) определяется масса выделившихся в результате лесных пожаров соответствующих газов.

Исходя из того, что при сгорании 1 кг лесных горючих материалов поглощается 1,24 кг кислорода при полноте сгорания в 50 процентов, производится оценка сгоревшего в результате ЛП кислорода. Также, необходимо отметить, что сохраненный от пожара лес выделит в атмосферу Земли 2,5 т кислорода с гектара в год, и поглотит около 1 т диоксида углерода (для лесов Ангарского региона).

Экономический ущерб оценивается исходя из запаса древесины на гектаре и таксе на неё при отпуске на корню, определяются средний объём древостоя и его количество в виде крупной $Q_к$, средней $Q_с$, мелкой $Q_м$ и дровяной $Q_д$ древесины. Цена древесины на гектаре рассчитывается исходя из нормативных документов на пользование лесными фондами по выражению:

$$C = \frac{(Q_к \cdot C_к + Q_с \cdot C_с + Q_м \cdot C_м + Q_д \cdot C_д) \cdot Q}{Q_{среднее}}, \text{ руб/га}$$

где Q – запас леса на гектаре.

Также учитываются экономические затраты на ликвидацию ЛП с учетом предлагаемых технологий тушения. Каждый зафиксированный пожар задается двумя наборами параметров: зафиксированными сканером и параметры по модели. Также, задается перечь технологий (посредством технических параметров). На первоначальном этапе выполняется оценка всех имеющихся в наличии технологий, при этом рассматриваются все зафиксированные пожары. Обоснованность выбора конкретной технологий тушения определяется частотой их “встречаемости” в анализируемом массиве информации. Все рассматриваемые технологии тушения пожаров разбиваются на классы. Разбиение на классы выполняется нейронными сетями автоматически с использованием практических данных. Далее выполняется обучение нейронной сети, генерирующей окончательные рекомендации по выбору технологий, определению номера класса тушения по заданным параметрам пожара.

Внедрение представленной системы в эксплуатацию позволит производить оценку непосредственно во время действия (развития) пожара. Это особенно актуально в случае, когда на подконтрольной территории зафиксировано большое количество очагов возгораний.

INITIAL ESTIMATION OF ECONOMIC AND ECOLOGICAL DAMAGES FROM FOREST FIRES ACCORDING TO RADIOMETER MODIS WITH USE NEURONETS

A. Romanov

Krasnoyarsk State Technical University

In this work offers a method of optimization of an expenditure of money resources on suppression of forest fires. Sources of data are: radiometric MODIS data (Level1B) and the information of afforestation inspection of territories. A neuronet constructions on a set of parameters of active forest fires and also the information about special fire suppression technics. Criterion function is economic expenses for delivery and use of fire engineering, and also economic losses from burned wood.

НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

О. Ю. Савельева[1] *, О. Б. Бутусов*[2]

[1]Московский государственный университет инженерной экологии, г. Москва
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Оценки площадей лесных пожаров (ЛП) имеют не только большое биосферное, но и хозяйственное значение. Проблеме послепожарной инвентаризации лесов посвящено большое количество отечественных и зарубежных исследований [1-3]. Для правильной оценки объемов атмосферных выбросов ЛП необходимы данные о площадях сгоревших лесов и о типе лесного пожара: верховой или низовой. В этой связи важное значение имеет возможность дистанционного разграничения на космических снимках гарей двух типов: гарей верхового и гарей низового ЛП.

В настоящее время разработано достаточно большое количество алгоритмов кластеризации с использованием, как четких, так и нечетких методов обработки. Эти алгоритмы можно разделить на три больших класса: эвристические, иерархически и разделительные. Последний класс наиболее часто используется для кластеризации изображений. Алгоритмы этого класса основаны на оптимизации заданной целевой функции (ЦФ). Примером ЦФ является расстояние в пространстве параметров. Широкую известность получили алгоритмы семейств "четких k-средних" и "нечетких c-средних" (FCMA) [4]. Недостатком этих алгоритмов является необходимость априорного задания требуемого числа кластеров, а также других численных параметров, от величины которых существенно зависят результаты кластеризации. Таким образом, при использовании алгоритмов кластеризации необходимо иметь дополнительные критерии качества разделения объектов на кластеры, позволяющие численно оценить результат применения тех или иных параметров. Первые алгоритмы оценки качества кластеризации были введены еще в первых работах Бездека [4] и получили название коэффициента кластеризации (PC) и энтропии кластеризации (PE).

Пусть $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ заданная система из n-векторов в пространстве признаков. При этом x_k^j — j-я компонента k-го вектора, соответствующая j-му параметру. При нечеткой кластеризации не существует жесткого деления на классы, при которой каждый вектор принадлежит только одному классу. Вместо этого вводятся степени принадлежности вектора каждому классу, которые называются функцией принадлежности (ФП): $u_{ik} = u_i(x_k)$, где $i = \overline{1,c}$, c - число классов. Функция принадлежности должна удовлетворять условию нормировки: $\sum_{i=1}^{n} u_{ik} = 1, \quad \forall k$.

Функция принадлежности заключает в себе гораздо больше полезной информации, чем четкое разделение на классы. Так, например, при делении на три класса объект, ФП которого примерно равна {1/3, 1/3, 1/3}, может рассматриваться, как неподдающийся классификации и, соответственно, не принадлежащий ни одному из кластеров.

Целевая функция, используемая в FCMA, имеет следующий вид:

$$J(U,V,m) = \sum_i \sum_k (u_{ik})^m d^2(x_k, V_i) \to \min \qquad (1)$$

где d — расстояние в пространстве признаков между объектом k и центром i-го кластера, m - параметр алгоритма.

Таким образом, ЦФ представляет собой сумму квадратов расстояний от всех объектов до центров кластеров, которая должна быть минимальной, т. е. ЦФ (1) является нечетким аналогом метода наименьших квадратов. Случай m=0 соответствует методу четкой кластеризации HCMA. В работе [4] показано, что наилучшим решением задачи (1) является следующее:

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^{n} (u_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^{n} (u_{ik})^m}, \qquad u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{c} \left(\frac{d(x_k, V_i)}{d(x_k, V_j)} \right)^{2/(m-1)}} \tag{2}$$

Из формул (2) следует, что центры кластеров рассчитываются, как средние арифметические, а функция принадлежности строится из отношений, показывающих на сколько объкт k ближе к i-му кластеру, чем к остальным.

Для расчета центров кластеров V_i по формулам (2) требуется предварительно рассчитать функции принадлежности u_{ik}, которые в свою очередь требуют знания V_i. Решение может быть найдено методом последовательных приближений.

Для выделения послепожарных площадей в мировой практике используются результаты космической съемки территорий ЛП в различных спектральных зонах. Известно [5], что неповрежденная растительность имеет большую отражательную способность в ближней инфракрасной области (NIR: 0,7 - 1,3 мкм), по сравнению с другими видами подстилающей поверхности и с участками послепожарных гарей. Это приводит к тому, что участки гарей в этом спектральном канале будут менее яркими по сравнению с участками неповрежденного леса. Важной характеристикой послепожарных гарей является также большая вариация коэффициента отражательной способности [5].

Следующей важной физической характеристикой гарей является повышенная в дневные часы температура поверхности, что происходит за счет более интенсивного поглощения солнечного излучения частичками сажи и другими продуктами сгорания. Повышение температуры обусловлено также уменьшенной транспирацией растительного покрова на послепожарных гарях. Пепел и сажа образуют сухой слой на поверхности, который препятствует ее охлаждению. В результате температура гарей на 7-8° больше, чем температура неповрежденных насаждений [5]. Эти температурные изменения могут быть измерены с помощью спектрального канала 11,0 мкм (TIR), который может быть проградуирован в единицах яркостной температуры поверхности.

Для мониторинга послепожарных гарей ESA предложены шесть интегральных индексов [5,6]. K1 — главный интегральный индекс. Для его получения пиксели изображения наносятся на координатную плоскость с координатными осями NIR и TIR. Учитывая, что в NIR диапазоне пиксели смещаются влево, а в TIR диапазоне вверх, получаем в результате заметное смещение пикселей гарей по диагонали влево. Это смещение мало зависит, как от типа лесного покрова, так и от состояния атмосферы, что позволяет отделить кластер гарей от основного кластера неповрежденной территории. Для количественной оценки смещения в каналах NIR и TIR рассчитываются средние значения яркостей изображения - центральная точка, которая принимается в качестве начала отсчета. При этом индекс K1 определяется, как расстояние в координатах NIR-TIR от центральной точки до середины кластера пикселей гари.

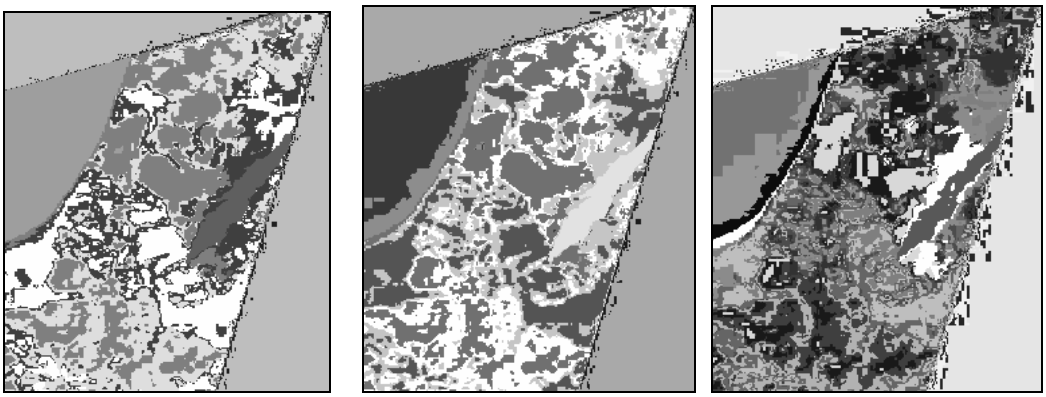
В нашей работе было использовано МСУ-СК изображение ЛП на территории Тахтинского лесничества Тахтинского лесхоза Хабаровского края. Участки сгоревшего леса окрашены преимущественно двумя цветами: темно-синего и темно-зеленого оттенков, по которым проводилась классификация. Структура древесных пород на этих

участках, согласно таксационным описаниям, примерно одинакова. В этой связи можно сделать предположить о том, что различные оттенки участков обусловлены разными типами ЛП: более темные (темно-синие) — низовой пожар, более светлые (темно-зеленые) — верховой пожар.

На рис.1 представлены результаты работы алгоритма FCMA для восьми, девяти и двадцати кластеров. Как следует из рис.1, наилучшие результаты по выделению площадей пожара получены для 20 кластеров. Для отделения кластеров был использован алгоритм бинаризации по слоям. Толщина слоя выбиралась из условия, чтобы внутрь слоя попадал только один кластер. Программа помещает результат бинаризации исходного изображения S в бинарное изображение BW. Изображения S и BW имеют одинаковый размер. Пикселю бинарного изображения с координатами r и c BW(r,c) присваивается значение 1, если яркость пикселя S(r,c) исходного полутонового изображения или индекс SI(r,c) палитрового изображения принадлежит заданному диапазону [a,b]. В противном случае пикселю бинарного изображения BW(r,c) присваивается значение 0. Таким образом, алгоритм бинарной обработки имеет следующий вид:

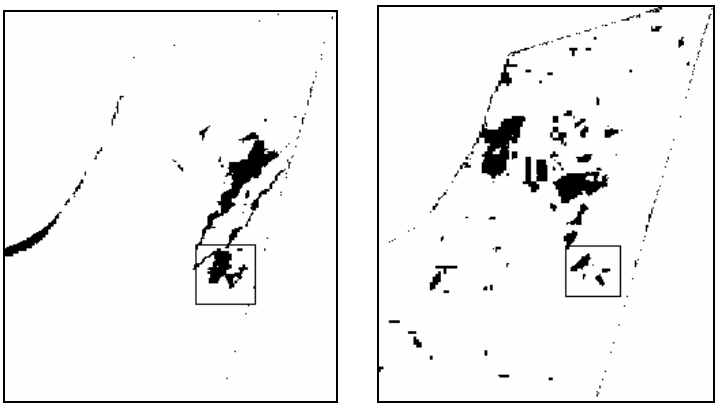
$$BW(r,c) = \begin{cases} 1, & a \le S(r,c) \le b \\ 0, & S(r,c) < a \ \vee \ S(r,c) > b \end{cases} \tag{3}$$

Результаты бинаризации представлены на рис.2.



а б в

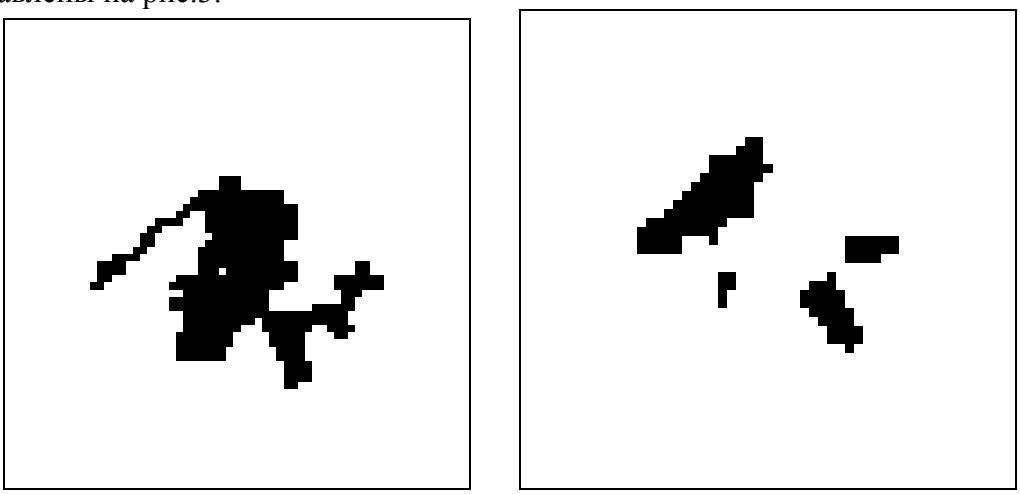
Рис.1. Результаты работы алгоритма FCMA для: а - восьми, б - девяти, в - двадцати кластеров



а б

Рис.2. Результаты бинаризации 20-кластерного FCMA-изображения
(рамками отмечено положение послепожарных гарей)

Обозначим условно кластер рис.2а кластером 1, а кластер рис.2б кластером 2. Как следует из рис.2, отделенные кластеры не являются целиком кластерами послепожарных гарей и требуется дополнительная интерактивная обработка для отделения от суммарного кластера областей, которые соответствуют гарям. При этом интерактивно указывают пиксель, принадлежащий выделяемому кластеру. Далее в соответствии с условиями, наложенными на параметр связности, программа включает или исключает соседние пиксели из кластера. Результаты отделения двух типов послепожарных гарей представлены на рис.3.



а б

Рис.3. Выделенные кластеры послепожарных гарей

Площади гарей определялись методом суммирования бинарных пикселей. В результате было найдено: площадь гари типа-1 = 428 пиксела = 428x150x150 = $963*10^4$ $м^2$ = 963га; площадь гари типа-2 = (90+33+16+6) пиксела = 145x150x150 = $326*10^4$ $м^2$ = 326га. Таким образом, в соответствии с принятой схемой деления гарей на два класса получен следующий результат. Площадь пройденная низовым пожаром составляет примерно 963га, а площадь пройденная верховым пожаром - 326га.

Литература

1. Ромасько В.Ю., Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Послепожарная инвентаризация лесных территорий по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса, 1998. - №6. - С.99-103.
2. Брейдо М.Д., Попик А.Г., Раков Д.В. и др. Регистрация последствий крупных лесных пожаров по космическим сканерным снимкам // Исследование Земли из космоса, 1995. - №1. - С.115-126.
3. Piccolini I., Arino O. Towards a global burned surface world atlas // Earth observation quarterly. - 2000. - N 65 (March). - p.14-18.
4. Bezdek J.C. Numerical taxonomy with fuzzy sets // Journal of mathematical biology. - 1974. - v.1. - p.57-71.
5. Pereira M.C. A comperative evaluation of NOAA / AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping // IEEE Transaction on geoscience and remote sensing. - 1999. - v.37. - p.217-226.
6. Lambin E.F., Erlich D. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land cover change analysis // International journal of remote sensing. - 1996. - v.17. - p.463-487.

FUZZY TECHNIQUE OF FOREST FIRE PARAMETERS ROUGH ESTIMATE USING SPACE IMAGES

O. Savelyeva[1], O. Butusov[2]

[1]Moscow state university of environmental engineering, Moscow
[2] Center of forest ecology and productivity problems of RAS, Moscow

Burned forest places were singled out on MSU-SK space image using Bezdek fuzzy algorithm and 20 clusters for image classification.

ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО АНАЛИЗА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ LANDSAT-7

О. Ю. Савельева[1], О. Б. Бутусов[2], Н. И. Редикульцева[1]

[1]Московский государственный университет инженерной экологии, г. Москва
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Основное предположение положенное в основу данной работы состоит в том, что биоразнообразие растительного покрова и биоразнообразие ландшафтов можно оценить с помощью фрактальной размерности кластеров на космических многозональных изображениях. Для оценки фрактальной размерности была использована первичная информация Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), которая включает семь спектральных каналов и которые в задачах биоразнообразия могут быть представлены в виде многочисленных спектральных комбинаций или вегетационных индексов, каждый из которых отражает те или иные спектральные характеристики или свойства растительного и почвенного покрова на подстилающей поверхности. Разработанная для решения этой задачи компьютерная программа получила название компьютерной информационной системы биоразнообразия (КИСБио). В программе имеется специальный модуль для расчета вегетационных индексов, которые можно использовать в качестве входной информации модуля фрактально-статистического анализа (МФСА). В настоящее время МФСА реализован в виде пакета m-файлов системы Матлаб, но может быть использован и как самостоятельная программа.

Фрактальная размерность представляет собой одну из главных характеристик, отражающих фрактальные свойства объекта. В настоящее время эта характеристика широко применяется в различных областях науки и техники. Так, например, фрактальные свойства различных материалов успешно изучаются по микрофотографиям их поверхностей и сечений. Аналогичным образом фрактальный анализ может быть предложен для исследования фрактальных свойств растительных ландшафтов. Измеряя фрактальную размерность на различных участках спутниковых изображений, можно проводить фрактальную сегментацию этих изображений и тем самым выделять природные объекты фрактальная структура которых различна. Важно, что при этом фрактальная размерность может оказаться единственной характеристикой, по которой можно различить природные объекты. Последнее позволяет предложить фрактальную сегментацию космических изображений растительных ландшафтов в качестве инструмента дистанционного анализа биоразнообразия. В настоящее время для измерения фрактальной размерности природных объектов на изображениях используются в основном три метода [1–3].

Первый метод основан на непосредственном использовании формулы фрактальной размерности Минковского, совпадающей в большинстве случаев с размерностью Хаусдорфа и имеющей следующий вид

$$D = -\lim_{a \to 0} \frac{\log_2 N(a)}{\log_2 a} \tag{1}$$

где *N(a)* – количество квадратов, покрывающих объект, $a = \frac{1}{s}$, *s* – длина стороны квадрата. Расчет проводится для фиксированных или скользящих окон на изображении. При этом в качестве *N* может быть использовано количество единичных пиксе-

лей на бинарном сечении исходного изображения, а в качестве s — линейный размер фиксированного или скользящего окна.

Второй метод основан на выделении границ объектов и последующего применения алгоритмов “box counting” (BC) или «кронциркуля». Окно покрывается квадратной сеткой. При этом линейный размер сетки выбирается как степень числа два, например $s = 2^8 = 256$. Тогда $\log_2 \frac{1}{2^8} = -8$ и в соответствии с формулой (1) фрактальная размерность будет положительной. При увеличении размеров сетки количество ячеек необходимое для покрытия объекта растет. При этом отношение логарифмов стремится к постоянной величине, так что в большинстве случаев предел (1) существует и называется фрактальной размерностью. Более того, это отношение остается почти постоянным практически для всех конечных значений параметра – а, так что члены последовательности $\left\{\frac{\log_2 N(a_k)}{\log_2 a_k}\right\}$ имеют почти одинаковую величину, которая и является фрактальной размерностью по Минковскому. Для ее вычисления члены последовательности $\left\{\frac{\log_2 N(a_k)}{\log_2 a_k}\right\}$ представляют в виде точек на графике в координатах $y = f(x)$, где $y = \log_2 N(a), \quad x = \log_2 a$. Далее фрактальную размерность вычисляют как наклон графика линейной регрессии по следующей формуле

$$D = \frac{n\sum\left(x_i y_i\right) - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} \tag{2}$$

BC-алгоритм является итеративным алгоритмом, в котором от итерации к итерации уменьшается в заданное число раз размер стороны квадрата. На первом этапе работы алгоритма осуществляется бинаризация изображения с целью выделения на нем изучаемых элементов ландшафта в виде бинарных объектов. При этом для выделения объектов задается порог бинаризации. На следующем этапе изображение равномерно покрывается квадратной сеткой заданного начального размера. Далее вычисляется число квадратов, покрывающих объект. К их числу относятся те квадраты, которые содержат «единичные» пиксели принадлежащие бинарному объекту. На каждой последующей итерации шаг расчетной сетки уменьшается в заданное число раз равное основанию логарифма (в КИСБио в два раза), после чего расчеты повторяются. Результаты расчетов представляют в виде графиков, по которым с помощью формулы (2) рассчитывают фрактальную размерность. Основное преимущество BC-алгоритмов заключается в их достаточно простой реализации в виде компьютерной программы. В то же время BC-алгоритм отличается существенным недостатком, связанным с нелинейностью графика зависимости $\log_2 N(a) = f\left(\log_2 a\right)$ на больших расчетных сетках.

Третий метод расчета фрактальной размерности объектов на изображении, основан на расчетах спектров мощности с помощью преобразований Фурье. Для черно-белых изображений формула для спектра мощности имеет следующий вид:

$$P(k_1, k_2) = \frac{C}{\left|k_1^2 + k_2^2\right|^{d/2}} \tag{3}$$

где d - показателем самоподобия, k_1, k_2 - волновые числа спектра мощности. Фрактальная размерность связана с показателем самоподобия следующим соотношением:

$$D = 4 - \frac{d}{2} \quad (4)$$

Диапазон значений фрактальной размерности изображения, как правило, равен: $2 < D < 3$. Данное соотношение выражает тот факт, что изломанность яркостного поля изображения превышает размерность гладкой поверхности, однако при этом фрактальная размерность двухмерного изображения все же остается меньше размерности трехмерных объектов.

Для практических расчетов фрактальной размерности по формулам (3)-(4) в КИСБио был использован метод скользящего окна и алгоритм дискретного преобразования Фурье. При этом следует подчеркнуть, что размер скользящего окна должен быть достаточным для использования дискретного преобразования Фурье, а также должен быть равен степени числа два. Окончательный выбор размера окна определяется выходом на устойчивое (слабо зависящее) от размеров окна распределение фрактальной размерности. Внастоящее время использованный в КИСБио ВС-алгоритм предназначен лишь для сегментации черно-белых изображений и включает следующие шаги: выделение границ объектов на изображении с помощью градиентного фильтра; бинаризация изображения на заданном уровне порога бинарного сечения; наложение на изображение квадратной сетки; подсчет числа квадратов, принадлежащих бинарному объекту; расчет фрактальной размерности; визуализация и вывод изображения фрактальной размерности на экран.

Преобразование спутникового изображения с помощью градиентного фильтра позволяет перейти от объектов на изображении к их скелетонам, которые наилучшим образом передают фрактальную структуру изображения. Последующая бинаризация полностью разделяет изображение на фоновую и скелетоновую компоненты, что дает возможность на следующем шаге алгоритма легко пересчитать квадраты, содержащие скелетоны.

На данном этапе программные элементы были реализованы с помощью средств пакета Матлаб, который является идеальной средой для опробирования и адаптации алгоритмов. В то же время основным недостатком пакета Маталаб с точки зрения использования его для практических расчетов является недостаточное быстродействие. Таким образом, главной целью использования Матлаба является максимальная эффективность работы на этапе разработки и тестирования основных элементов КИСбио. После завершения отладочного этапа расчетные модули могут быть реализованы на универсальных языках С/С++ и др., что обеспечит максимальное быстродействие разработанных алгоритмов.

Для оценки возможностей практического применения КИСБио была проведена фрактальная сегментация 4-го спектрального канала Landsat7 (Landsat7 от 27 сентября 2000 года) лесного покрова ЦЛГЗ. На рис.1 представлено окно пользовательского интерфейса модуля фрактальной сегментации с полученными результатами.

Результаты фрактальной сегментации могут быть получены в виде двух картосхем:

- в виде растровой картосхемы (фрактальной сетки);
- в виде контуров, соответствующих уровням фрактальной размерности.

Растровая картосхема фрактальной размерности лесного покрова ЦЛГЗ представлена в среднем окне рис.1. Для оценки фрактальной размерности может быть использована шкала, позволяющая по яркости отдельных пикселей определить фрактальную размерность. Как следует из рис.1, мозаика фрактальной размерности является весьма разнообразной, что по нашему предположению свидетельствует о значительном ландшафтном и видовом биоразнообразии территории. Картосхема фрактальной размерности в виде контуров выведена в правое окно рисунок. Так же как для растровой

схемы и в этом случае величина уровней фрактальной размерности может быть определена по специальной шкале. Следует отметить, что представление фрактальной размерности в виде картосхемы является более наглядным по сравнению с растровым представлением.

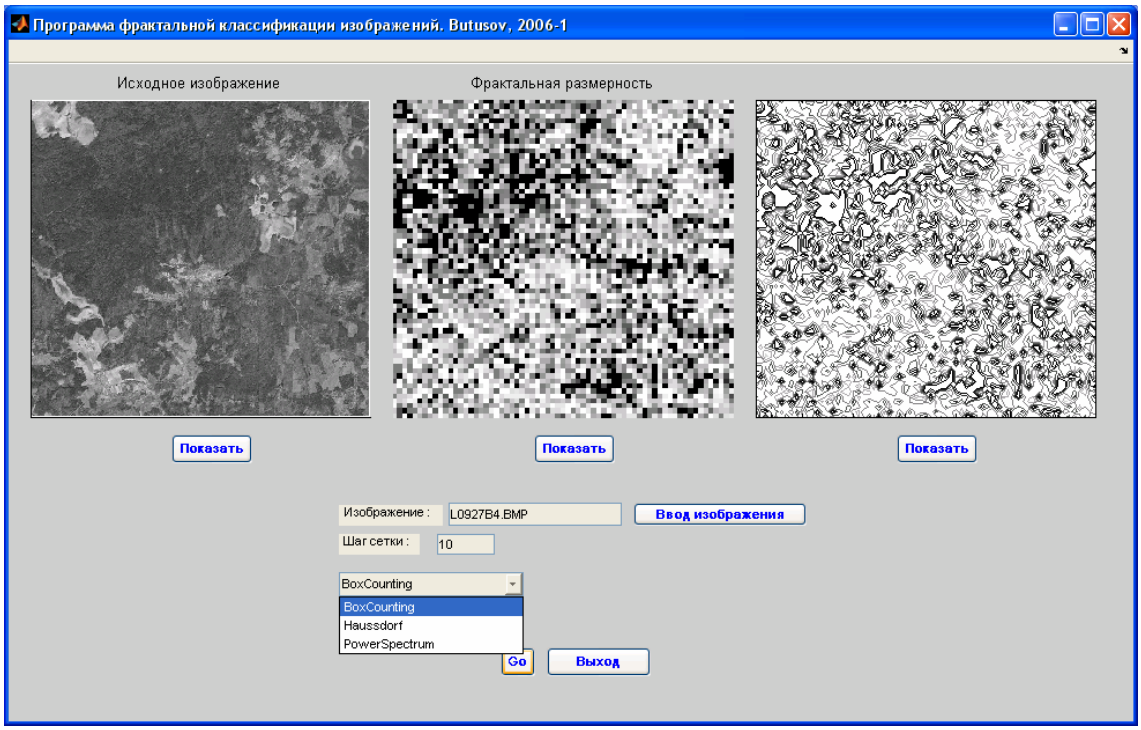


Рисунок. Результаты фрактальной сегментации лесного покрова ЦЛГЗ по снимку со спутника Landsat7

Литература

1. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. — М.: Постмаркет, 2000. — 352с.
2. Васильев Л.Н. Фрактальность и самоподобие природных пространственных структур // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1992. — № 5. — С. 23.
3. Пузаченко Ю.Г. Методологические основы измерения сложности ландшафта // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1995. — № 4. — С. 30 — 50.

FRACTAL TECHNIQUE OF FOREST BIODIVERSITY ANALYSIS USING LANDSAT-7 IMAGES

O. Savelyeva[1], O. Butusov[2], N. Redikultseva[1]

[1]Moscow state university of environmental engineering, Moscow
[2]Center of forest ecology and productivity problems of RAS, Moscow

Three different fractal segmentation methods (Boxcounting, Haussdorf and Power spectrum) were used to create information computer system for remote sensing biodiversity analysis of forests.

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Р. Б. Сандлерский

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,

При планировании лесного и сельского хозяйства полезно совершенствовать оценки чистой биологической продуктивности, доли солнечной энергии, затрачиваемой на транспирацию и производство биологической продукции как с учетом, так и без учета свойств почв и рельефа, влияющих на соотношение затрат энергии на продукцию и транспирацию. Получить такие оценки на основе наземных измерений практически невозможно. Они возможны на основе дистанционных данных дистанционного зондирования отображающих энергетическое состояние земной поверхности в момент съемки в различных спектральных диапазонах. Спутниковые измерения отраженной солнечной энергии в сопоставлении с солнечной постоянной позволяют рассчитать поглощенную солнечную энергию на единицу поверхности и эксергию – долю поглощенной солнечной энергии, идущую на продуктивность и транспирацию (Jorgensen, Svirezhev, 2004). В термодинамике, откуда понятие эксергии (“exergy”) вошло в экологию и другие дисциплины, эксергия – это максимальная работа, которую может совершить термодинамическая система при переходе из данного состояния в состояние равновесия со средой. Эксергией иногда называется работоспособность системы – функция дистанции между текущим состоянием системы и термодинамическим равновесием.

Измерение эксергии по мультиспектральной съемке осуществляется через дистанцию между распределением мощностей по спектру поглощенной солнечной энергии для единицы поверхности и равновесным состоянием, с гипотетическим поглощением солнечной энергии пропорционально распределению мощностей в спектре солнечной постоянной. Степень отклонения реального спектра поглощения от равновесного оценивается как энтропия Кульбака (K) (Jorgensen, Svirezhev, 2004) – мера различия двух сравниваемых распределений и параметр открытых неравновесных термодинамических систем:

$$\mathbf{K} = \sum \mathbf{p}_{\mathbf{i}}^{\mathbf{out}} \ln\left(\frac{\mathbf{p}_{\mathbf{i}}^{\mathbf{out}}}{\mathbf{p}_{\mathbf{i}}^{\mathbf{in}}}\right)$$

где p_i^{out}/p_i^{in} – доля отраженной/поступившей энергии в канале i от суммарной отраженной /поступившей энергии.

Эксергия (Ex), оцениваемая через энтропию Кульбака:

$$\mathbf{Ex} = \mathbf{E}^{\mathbf{out}}\left[\mathbf{K} + \ln\left(\frac{\mathbf{E}^{\mathbf{out}}}{\mathbf{E}^{\mathbf{in}}}\right)\right] + \mathbf{R}$$

где E^{in} – суммарный приход энергии, E^{out} – суммарная отраженная энергия, R – суммарная поглощенная энергия.

Величина эксергии дает представление об энергетических затратах на транспирацию и продуктивность. Для оценки непосредственных затрат энергии на продукцию можно использовать соотношение отраженной энергии в красном (RED) и ближнем инфракрасном диапазонах (NIR), лежащее в основе расчета распространенного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), тесная связь которого с чистой первичной продукцией хорошо исследована и доказана в работе Ю. Г. Пузаченко и А. Г. Санковского (2005).

Отношение разности отраженной энергии в ближнем инфракрасном и красном диапазонах к эксергии позволяет оценивать долю энергии, затраченной на производство биологической продукции (NPPEX%):

$$\mathbf{NPPEX\% = 100\left(\frac{NIR - RED}{Ex}\right)}$$

Информативность предлагаемых оценок рассмотрена на примере территории Центрально-Лесного биосферного заповедника и его охранной зоны – 32°53’ В.Д., 56°46’ С.Ш. Ландшафт заповедника: моренно-грядовая возвышенность с темнохвойными неморальными и бореальными естественными лесами, в сочетании с лесными и верховыми болотами, ветровалами, вырубками, разновозрастными вторичными лесами и используемыми и заброшенными полями и лугами. На этой территории проведено более 2000 полевых описаний состояния растительности, гранулометрического состава почвообразующих пород, мощности почвенных горизонтов и их окраски по шкале Манселла, так же построена на основе топографической карты масштаба 1:10000 цифровая модель рельефа. На территории осуществлены наземные измерения состояния древесного полога: сумма площадей сечений древостоя (BSA, м/га^2) и листового индекса (LAI) рассчитанного по цифровой фотографии (цифровой фотоаппарат с объективом Fisheye) на трансекте длиной 7.3 км с шагом 20 м в различные сезоны года. Разнообразие территории и обеспеченность ее полевыми измерениями позволяет хорошо тестировать физический смысл полученных оценок.

Составляющие энергетического баланса рассчитаны по спектрозональной съемке Landsat 5, 7 с пространственным разрешением 28.5 м. Мультиспектральные сканеры этих спутников позволяют рассчитать величину отраженной радиации в полосе длин волн для 0.45 – 2.35 μm, с температурным каналом 10.12 – 14.5 μm, охватывая, таким образом, большую часть спектра солнечной радиации. Расчет выполнен для пяти сроков: 22 марта 2001 г, 27 апреля 2000 г, 3 мая 1990 г, 20 июня 2002 г, 27 сентября 2000 г. Спутники снимают эту территорию в 11 часов 30 мин по московскому времени. В это время суток обычно наблюдается наиболее интенсивный фотосинтез.

В таблице 1 представлены составляющие энергетического баланса для исследуемой территории. Полученные общие оценки затрат энергии на чистую продукцию не противоречат существующим представлениям. На чистую продукцию, по различным оценкам идет 0.1 – 0.2% эксэргии солнечной радиации (Бродянский, Бандура, 1996, Hall, Rao, 1999). Ю.М. Свирежев и С.В. Йоргенсон (2004) приводят для умеренных широт среднюю оценку доли энергии идущей на производство чистой биологической продукции – 0.9%. Полученная средняя оценка для июня – 4.5%, что вполне приемлемо для времени наблюдения с максимальным фотосинтезом.

Таблица 1

Характеристики энергетического баланса в целом для территории

Переменные	март	апрель	май	июнь	сентябрь
Общая поглощенная энергия (R), Вт/м^2	858.00	1435.93	1426.97	1613.04	1008.42
Эксергия (Ex), Вт/м^2	509.86	1126.44	1150.42	1257.04	789.21
Затраты на чистую продукцию, NPPEX%%	–	1.7	1.4	4.5	2.2

Не проводя глубокого анализа можно выделить несколько типов ландшафтного покрова, различающихся по структуре энергетического баланса. Выделяются по низкой эксергии и затратам на производство продукции верховые болота, аналогичными показателями характеризуются селитебные земли. В целом леса имеют большую эксергию и

большие различия в доле энергии идущей на производство продукции. Зарастающие поля и вывалы характеризуются средней эксергией и, в целом, высокой долей энергии идущей на производство продукции.

Характеристики энергетического баланса достоверно описываются измеренными в поле свойствами растительности: так пространственное варьирование по трансекту эксергии и доли энергии, затраченной на продуктивность определяются суммой площадей сечений деревьев ($м^3$/га) на 82% и 21%, а листовым индексом на 83% и 20% соответственно.

В табл. 2 представлены результаты регрессионного анализа зависимости эксергии и доли солнечной энергии затраченной на производство биологической продукции от свойств растительности (анализ выполнен на основе более 1000 комплексных полевых описаний). Анализ показывает, что возраст, запасы и состав леса определяет для июня до 41% варьирования эксергии и до 37% затрат энергии на производство биологической продукции. Высота и соответственно возраст леса положительно влияют на величину эксергии и отрицательно на энергозатраты на производство продукции, что соответствует общим представлениям. Хвойные породы при прочих равных условиях имеют большую эксергию и меньшие затраты энергии на производство продукции по сравнению с широколиственными и мелколиственными.

Таблица 2

Регрессионный анализ зависимости энергетических характеристик от свойств растительного покрова

Характеристики растительного покрова	Энергетические характеристики			
	Эксергия, Вт/$м^2$		Затраты энергии на продуктивность, %%	
параметры модели	B	t	B	**t**
константа	1224.21	243.29	5.25	31.37
Высота леса	1.66	11.81	-0.24	-7.30
Суммы площадей сечений ($м^3$/га):				
Ель	1.19	8.87	-0.33	-10.01
Сосна	0.66	1.26	-0.10	-3.25
Мелколиственные породы	0.13	0.91	0.17	5.44
Широколиственные породы	-0.47	-1.39	0.14	4.72
Проективное покрытие (%%):				
Кустарники	0.17	2.98	-	-
Травы	-0.18	-3.71	0.07	2.16
Мхи	0.12	2.65	-0.16	-4.73
Коэффициент детерминации (R^2)	0.41		0.37	

Таким образом, значения и соотношение эксергии и затрат энергии на производство биологической продукции позволяют с высокой надежностью, с разрешением 60x60 м на местности, определить запасы и состав древесины, а также оптимальный возраст рубки.

На основе регрессионного анализа зависимости доли энергии затраченной на производство биологической продукции от свойств рельефа на различных иерархических уровнях (анализ выполнен по цифровой модели рельефа и рассчитанных по ней морфометрических характеристик: форма поверхности, крутизны, освещенность) без учета растительности, установлено, что варьирование характеристик рельефа описывают 18% варьирования затрат энергии на производство продукции, что позволяет построить карту потенциальной продуктивности как результата перераспределения влаги и тепла рельефом. Максимальная потенциальная продуктивность предсказывается на наиболее крутых и соответственно дренируемых склонах моренных гряд преимущественно южной экспозиции.

Регрессионный анализ показывает, что затраты энергии на производство продукции статистически надежно определяются также гранулометрическим составом почв, мощностью гумусового и подзолистого горизонтов и степенью окислительного процесса. Для лесных территорий свойства почвы описывают 17% варьирования затрат энергии на производство продукции, для сельскохозяйственных – 27%. Так как состояние растительности надежно воспроизводиться через рельеф и каналами дистанционной мультиспектральной съемки, то предлагаемая методика позволяет оценить вклад в продуктивность свойств почвы и рельефа. Использование сцен за разные сезоны года позволяет оценить длительность периода вегетации на различных элементах рельефа и почвах и выявить сезонные особенности функционирования различных типов ландшафтного покрова: так, например верховые болота наиболее активны весной и осенью, а не летом в отличие от лесов.

В целом, предлагаемая технология позволяет оценить текущую и потенциальную биологическую продуктивность любой территории и с определяемой точностью оценить качество земель и на этой основе определить наиболее эффективные формы их использования.

Автор выражает признательность профессору, доктору географических наук Ю. Г. Пузаченко за постановку проблемы и общее руководство работой.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ №06-05-64937а.

Литература

1. *Jorgensen S.V., Svirezhev Y. M.* 2004. Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems. Elsevier Ltd. The Boulevard, Oxford UK. – 369 p.
2. *Hall D. O., Rao K.K.* 1999. Photosynthesis, 6th Edition, Studies in Biology, Cambridge University Press. – 258 p.
3. *Бродянский В., Бандура А.* 1996. Ресурсы ноосферы и экономика//Энергия № 10. С. 12 – 24.
4. *Пузаченко Ю.Г., Санковский А.Г.* 2005. Климатическая обусловленность чистой продукции биосферы Известия РАН сер. Географ. 5. С. 14 – 28.

EVALUATION OF BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF SOUTH TAIGA LANDSCAPES USING REMOTE SENSING DATA

R. Sandlerskij

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow

Estimation of net biological production and evaluation of solar radiation used for transpiration and biological production (with and without considering habitat type) need to be improved in an effort to intensify forestry and agriculture. Habitat in the context means complex of soil and relief properties influencing solar energy consumption on biological production and transpiration. The calculation of energy balance members for specific territories is based on remote multispectral measurements of reflected solar radiance verified by field data. Final results will help to optimize the profit/expense ratio in land use and to increase cost-performance of renewable biological resources.

К 35-ЛЕТИЮ ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ В.О. «ЛЕСПРОЕКТ»

В.И. Сухих

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Всесоюзное объединение «Леспроект» за период своего существования (1947 - 1993 гг.) выполнило исключительно большой комплекс работ по обеспечению органов управления народным хозяйством страны всей необходимой информацией для устой-

чивого управления лесным хозяйством и лесной промышленностью страны, союзных республик, областей (краев, автономных республик), административных районов (лесхозов, леспромхозов). Впервые все леса страны были изучены и закартографированы, составлены карта и атлас лесов и учет лесного фонда. Для каждого лесхоза были разработаны проекты по организации и развитию лесного хозяйства, а для областей, краев и республик зоны интенсивного лесопользования - генеральные схемы комплексного развития лесного хозяйства и лесной промышленности. Материалы изученности лесов периодически обновлялись, постоянно совершенствовалась техника и методология полевых и камеральных работ. Велись целенаправленные научно-исследовательские и опытно – производственные работы, развивались аэрометоды, внедрялась современная вычислительная техника и математические методы обработки лесоустроительной информации, моделирование при проектировании. Были созданы современные производственные инфраструктуры лесоустроительных предприятий и экспедиций, успешно решалась жилищная проблема специалистов, работавших в лесоустроительных подразделениях.

Деятельность В.О. «Леспроект» получила исключительно высокую оценку не только со стороны директивных органов, производственных и научных организаций лесного сектора экономики страны, но и специалистов и ученых многих стран Мира, с которыми объединение успешно сотрудничало на протяжении всего периода его существования. В истории объединения немало ярких страниц, характеризующих его разностороннюю деятельность. Но, пожалуй, одной из самых ярких из них является та, которая связана с деятельностью его Научно-исследовательской части (НИЧ), созданной в 1972 г. по решению директивных органов страны в связи с принятой 7 декабря 1971 г. широкомасштабной программой по исследованию природных ресурсов Земли с помощью средств космической техники.

На НИЧ была возложена задача разработки и внедрения в практику лесного хозяйства страны новых методов изучения лесов и оценки их состояния на основе применения средств аэрокосмической техники. Она была определена головной организацией отрасли по проблеме, ей была выделена необходимая численность научно-технического персонала (125 единиц) и установлена первая (высшая) категория оплаты труда научных организаций. НИЧ было предоставлено неплохое производственное помещение в г. Москве, закуплено, преимущественно по импорту, самое современное на тот период оборудование, на которое затрачено несколько миллионов в долларовом исчислении, оказана помощь в комплектовании кадров.

В решении всех этих вопросов исключительно большой вклад внесли Председатель Гослесхоза Г.И. Воробьев, начальник В.О.»Леспроект» П.И. Мороз, их заместители и некоторые сотрудники. Большое содействие работе НИЧ оказывали лесоустроительные предприятия, особенно Северо-Западное лесоустроительное предприятие, в составе которого была создана лаборатория НИЧ, Поволжское (г. Горький) и Восточно-Сибирское (г. Красноярск) лесоустроительные предприятия, в которых были созданы сектора НИЧ. Для обеспечения опытно - производственной апробации и внедрения разработок НИЧ в Северо-Западном (г. Ленинград) и Центральном (г. Москва) лесоустроительных предприятиях были созданы специализированные аэрокосмические экспедиции. В составе Московской аэрокосмической экспедиции функционировал самолет-лаборатория Ан-30, оснащенный современным аэрофотосъемочным оборудованием, в т.ч. многозональной аэрофотокамерой МКФ-6.

Работы по проблеме проводились по комплексным координационным планам – графикам, утверждаемым ГКНТ СССР, Госпланом СССР, АН СССР, ВПК при СМ СССР, а ход их регулярно обсуждался на специальных заседаниях, проводимых в ГКНТ СССР с участием представителей всех министерств и ведомств, принимавших

участие в выполнении работ по проблеме. А в работе принимали участие специализированные организации союзных Министерств и ведомств: обороны, сельского хозяйства, геологии, лесного и водного хозяйства, ГУГиК , Госкомгидромета, АН СССР, Центра подготовки космонавтов и др. По результатам рассмотрения принимались оперативные меры, способствовавшие успешному выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и внедрению разработанных методов и технологий в производство.

НИЧ за период ее относительно недолгого существования (1972- 1988 гг.) решены следующие четыре основополагающие задачи:

1. Всесторонне исследованы изобразительные и дешифровочные свойства и возможности всего комплекса материалов аэрокосмческих съемок, которые были доступны на тот период времени; изучена структура леса, как объекта дистанционного зондирования; разработаны технические требования к средствам дистанционного зондирования лесов из космоса; развиты теоретические основы дешифрирования аэрокосмических снимков.

2. Обоснованы и разработаны теоретические основы, структура и схема функционирования аэрокосмического мониторинга лесов.

3. Решены проблемы автоматизированной обработки аэро- и космических изображений и автоматизированного лесного картографирования в целях совершенствования методов и технологий аэрокосмического мониторинга лесов.

4. Разработан и внедрен в производство комплекс новых эффективных методов и технологий изучения и картографирования лесов и оценки их состояния в рамках системы аэрокосмического мониторинга. Основные из них следующие:

1. Временные методические указания по фотостатистической инвентаризации резервных лесов на основе применения материалов аэрокосмической фотосъемки. - Утверждены Гослесхозом СССР в 1978 г. (авторы Данюлис Е. П., Сухих В. И., Березин В. И., Богданов В. М., Кренев И. А. Кропов П. А).

2. Методика картографирования лесного фонда МНР. - Утверждена Гослесхозом СССР в 1978 г. (Сухих В. И., Максимов В. А., Кропов П. А.).

3. Выявление и картографирование участков свежих гарей по снимкам из космоса. Практические рекомендации. - Утверждены Гослесхозом СССР в 1979 г. (Жирин В. М., Сухих В. И.).

4. Методика мелкомасштабного картографирования лесного фонда на основе космического фотографирования.-1979 г. (Сухих В. И., Максимов В. А., Кропов П. А., Гаврилов В. В., Беляева Г. А.).

5. Временные рабочие правила по инвентаризации лесов Северо-Восточной части СССР методом камерального дешифрирования аэрокосмических снимков. - Утверждены В.О. «Леспроект» в 1980 г. (Богачев А. В., Букин Н.И., Зубков Н.М., Сухих В.И.).

6. Методические указания по автоматизации дешифрирования аэрокосмических изображений при инвентаризации резервных лесов.-Утверждены В/О «Леспроект» в 1980 г. (Эльман Р. И., Кузенков Л. А.).

7. Методика и программное обеспечение создания по регионам страны банка таксационно-дешифровочных характеристик лесов. Одобрены Ученым советом В.О.»Леспроект»и рекомендованы для промышленной эксплуатации в 1980 г. (Сухих В.И., Богачев А. В., Суслов Ю. И., Филипчук А. Н).

8. Метод оценки соблюдения основных положений Правил рубок главного пользования при сплошнолесосечной системе рубок на основе космических съемок. – Одобрены Ученым Советом ВО «Леспроект» в 1980 г. (Жирин В. М., Боровиков Н. З.).

9. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмической информации резервных лесов (методические рекомендации). Одобрены Ученым советом В.О. «Леспроект» в 1980 г. (Эльман Р. И., Кузенков Л. А.).

10. Рекомендации по использованию пакета прикладных программ Регион-ЕС. Одобрены Ученым советом В.О. «Леспроект» в 1980 г. (Эльман Р. И., Боданский Е. Д.).

11. Способ автоматизированного определения таксационных показателей по аэрофотоснимкам. Авт. свидетельство на изобретение 7500277 от 28.03.80. (Эльман Р. И., Кузенков Л. А.).

12. Способ картографирования гарей и вырубок по аэрокосмическим снимкам. Авт. свидетельство на изобретение 884393 от 21.07.81 г. (Паморозский Е. И., Жирин В. М., Эльман Р. И.)

13. Метод оценки хода лесовосстановления и формирования молодняков на вырубках таежной зоны на основе материалов космической съемки и выборочной крупномасштабной аэрофотосъемкой. - Одобрены Ученым Советом В.О. «Леспроект» в 1982 г. (Жирин В. М., Орлова О. Л.).

14. Технические указания по выявлению и учету на основе материалов космических съемок текущих изменений в лесном фонде многолесных районов, выванных хозяйственной деятельностью и стихийными бедствиями.-Утверждены Гослесхозом СССР в 1982 г. (Жирин В. М., Сухих В. И, Марков В. А.).

15. Методическое руководство по таксации леса с использованием аэрокосмических снимков (при выборе оптимального направления трасс высоковольтных линий). Согласовано Энергосетьпроектом и В.О. «Леспроектом» в 1982 г. (Богачев А. В.,Филипчук А. Н., Королев И. А.).

16. Временые методические указания по инвентаризации малоосвоенных лесов на основе материалов космической съемки и данных прежнего лесоустройства. – Утверждены Гослесхозом СССР в 1983 г. (Данюлис Е. П., Кренев И. А., Сухих В. И.).

17. Технические указания по инвентаризации древесно-кустарниковой растительности пустынь на основе материалов космической съемки и данных прежнего лесоустройства.-Утверждены Гослесхозом СССР в 1984 г. (Жирин В. М., Герасименко Е. Н., Лагунов П. М.).

18. Методические рекомендации по применению материалов аэрокосмических съемок при проведении единовременной инвентаризации защитных насаждений, созданных на землях сельскохозяйственного назначения. - Одобрены Ученым Советом В.О. «Леспроект» в 1984 г. (Жирин В. М., Боровиков Н. З., Артамонов С. И.).

19. Методика оценки экономической эффективности использования аэрокосмической информации в лесном хозяйстве.- Утверждена Гослесхозом СССР и ЦЭМИ АН СССР в 1985 г. (Кудрявцев В. С., Сухотин Ю. В.).

20. Руководство по мелкомасштабному картографированию лесов с использованием материалов космических съемок и картографических материалов лесоинвентаризационных и лесообследовательских работ.- Утверждены Гослесхозом СССР и согласована с ГУГиК при СМ СССР в 1986 г. (Сухих В. И., Максимов В. А., Кропов П. А.).

21. Методика организации и проведения космовизуальных наблюдений в целях охраны лесов от пожаров.- Утверждена Минлесхозом РСФСР и согласованы с ЦПК им. Ю. А. Гагарина в 1986 г. (Сухих В.И., Щетинский Е.А., Артюхов Ю.П., Семенов Ю.П.)

22. Временная методика по учету сосновых насаждений, подверженных влиянию промышленных выбросов.- Одобрены Ученым Советом ВНИИЛМ в 1986 г. (Воронков Н. А., Жирин В. М., Касимов В. Д., Коженков Л. Л., Мартынюк А. А.).

23. Применения материалов аэрокосмических съемок при гидромелиорации, Методические рекомендации.- Утверждены Гослесхозом СССР в 1986 г. (Березин В. И., Данюлис Е. П., Сухих В. И., Суворов И. А., Константинов В. К.)

24. Технические указания по инвентаризации резервных лесов на основе материалов аэрокосмических съемок.- Утверждены Гослесхозом СССР в 1988 г. (Данюлис Е. П., Кренев И. А., Сухих В. И.).

25. Автоматизированный вариант методики детального освидетельствования лесосек на основе применения крупномасштабной аэросъемки.- Одобрена Ученым советом В.О. «Леспроект» в . 1988 г. (Эльман Р. И., Кузенков Л. А. и др.).

26. Технология автоматизированного составления картографических материалов.-Одобрена Ученым советом В.О. «Леспроект» в 1989 г. (Эльман Р. И., Боданский Е. Д.).

27. Автоматизированный метод контроля за порядком лесопользования в леспромхозах лесопромышленных зон. - Одобрена Ученым советом В.О. «Леспроект» в 1989 г. (Сухих В. И., Брейдо М. Д., Марков В. А., Шаталов А. В.).

28. Метод дистанционного контроля изменений в лесном фонде под влиянием разведки и добычи нефти и газа.- Утверждены Гослесхозом СССР в 1990 г. (Сухих В. И., Белаенко А. П., Боровиков Н. З., Соколова Н. В., Грязнов С. А., Чернявский А. В.).

29. Технические указания по комплексной технологии аэрокосмической ивентаризации древесно-кустарниковой растительности и оценки состояния кормовых ресурсов в пустынной зоне.- Утверждены Гослесхозом СССР в 1990 г. (Жирин В. М., Герасименко Е. Н., Лагунов П. М., Бахтинова Е. В.).

Результаты исследований НИЧ начали использоваться начиная с 1978 г. при решении опытно-конструкторских и производственных задач. Так, тактико-технические требования к съемочным бортовым комплексам дистанционого зондирования были использованы Госцентром «Природа», ГосНИЦИПР, ЦНИИМАШ при проектировании космических систем дистанционного зондирования Земли нового поколения. Фотостатистическими методами на основе дешифрирования космическиих фотоснимков изучены в 1978-1990-х гг. леса на площади 208 млн.га (к настоящему времени свыше 400 млн. га). Учет по космическим фотоснимкам текущих изменений в лесном фонде многолесных районов, вызванных хозяйственной деятельностью и стихийными бедствиями в 80-х гг. прошлого столетия проведен на площади 455.4 млн.га. Метод инвентаризации малоосвоенных лесов на основе материалов космической фотосъемки и данных лесоустройства применен на 23.7 млн. га (1985-1990 гг.). Проведен в 1989-1990 гг. учет по космическим сканерным снимкам среднего разрешеня крупных гарей в таежных районах на площади 160 млн. га. На основе дешифрирования космических фотоснимков составлена карта лесов Монгольской народной республики в масштабе 1:1 000 000 (1978-80 гг.); проведен переучет лесосырьевых ресурсов на закрепленных за лесозаготовительными предприятиями территориях с целью выявления дополнительных ресурсов; оценен ущерб нанесенный лесам ураганными ветрами в Ярославской области и пр.. Методика организации и проведения космовизуальных наблюдений в целях охраны лесов от пожаров использовалась при подготовке космонавтов и проведении ими наблюдений в интересах лесного хозяйства с долговременной пилотируемой станции «Салют».

Расчеты бывшего В.О. «Леспроект», подтвержденные соответствующими официальными документами, свидетельствуют, что по состоянию на 1991 г. применение при лесоинвентаризационных и лесообследовательских работах новых методов и технологий, разработанных НИЧ, позволило получить значительный экономический и социальный эффект. Так, применение их обеспечивало снижение затрат труда и средств на выполнение работ до 2-5 раз, прежде всего при выполнении наиболее трудоемких полевых работ. Это позволило В.О. «Леспроект» увеличить ежегодные объемы работ практически при той же инфраструктуре и численности работающих по лесоустройству и лесоинвентаризации на 40% (с 50 до 70 млн. га) при росте затрат средств на 5% и ре-

шить на тот период проблему своевременного изучения лесов и обновлению данных их изученности на всей территории страны. Прямой суммарный экономический эффект от внедрения в производство разработок составил в ценах того времени 34.3 млн. руб. (при курсе доллара около 0, 64 руб.).

Однако хозяйственное, экологическое и социальное значение разработанных методов и технологий значительно выше, поскольку они способствовали улучшению управления лесными ресурсами, более полному и рациональному их использованию и, в целом, вести лесное хозяйство на научной основе.

Работы НИЧ по данной проблеме во многих случаях были пионерскими и получили высокую оценку со стороны директивных органов, смежных отраслей народного хозяйства и обороны, участвовавших в решении проблем, связанных с исследованием природных ресурсов Земли с помощью средств космической техники, отечественных и зарубежных ученых и специалистов. Свидетельством этому может служить факт приезда в НИЧ для ознакомления с разработками Президента АН СССР А.П. Александрова с лиректором курчаторского института академика …Легасова, проведения на базе НИЧ трех международных учебных семинаров по линии ООН для более чем 50 стран Африки, Америки, Азии и Европы, участия НИЧ в различных отечественных и зарубежных выставках и пр.

Значительная часть завершенных разработок НИЧ, апробированных и одобренных В.О.»Леспроект» и Гослесхозом (Госкомлесом) СССР, осталась невостребованной в связи с начавшейся перестройкой и развалом Советского Союза. Однако проблемы, решавшиеся НИЧ в 70-80-х гг. прошлого века, требуют своего решения, а некоторые из них обострились в связи с изменением социально-экономических условий. Поэтому в последние годы наметились определенные тенденции со стороны Рослесхоза, МПР РФ, Газпрома, РАО ЕС, компаний, занимающихся добычей и транспортировкой нефти и др. по реанимации на новом качественном уровне тех разработок и решения тех проблем, которые входили в свое время в орбиту исследований НИЧ.

Полагаем, что всем, кто работает над проблемами решения задач по многоцелевому изучению лесов и оценке их состояния на основе применения материалов дистанционных съемок, полезно знать историю вопроса и использовать в полной мере тот не малый научный и практический потенциал, который был накоплен Научно-исследовательской частью В.О. «Леспроект» за время ее недолгого, но исключительно продуктивного функционирования. Основную информацию о ее работах можно почерпнуть из перечисленных выше нормативно-методических материалов, научных отчетов (значительная часть из них утрачена в период перестройки) и довольно многочисленных отечественных и зарубежных публикаций ее сотрудников. Основные из них: «Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве» - авторы Сухих В.И., Синицын С.Г., Апостолов Ю.С. и др.).М.: «Лесная промышленность», 1979.-296 с.; «Лесная аэрофотосъемка и авиация» - учебник для вузов (авторы Дмитрев И.Д., Мурахтанов Е.С., Сухих В.И.). М.: «Лесная промышленность». 1981.- 340 с.; «Лесная аэрофотосъемка и авиация» - учебник для вузов, издание второе (авторы Дмитриев И.Д., Мурахтанов Е.С., Сухих В.И.). М.: «Агропромиздат». 1989.- 366 с.; «Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве» (авторы Данюлис Е.П., Жирин В.М., Сухих В.И., Эльман Р.И.). М.: «Агропромиздат», 1989. – 223 с.; «Дистанционный мониторинг лесов» (авторы Исаев А. С., Сухих В. И., Калашников Е. Н. и др.). М.: «Наука». 1993.- 241 с.; Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве» - учебник для вузов. Йошкар-Ола.: МарГТУ. 2005. – 390 с.

Выше перечислены основные направления и результаты работ НИЧ, связанные с дистанционными методами и геоинформационными системами. Но в НИЧ был выполнен также большой комплекс работ, связанных с внедрением в лесоустроительное

производство математических методов и электронно-вычислительной техники для обработки лесоустроительной информации, в лесоустроительное проектирование, для разработки автоматизированных систем управления производством. Совместно с лесоустроительными предприятиями проведена разработка методологии, алгоритмов, программных продуктов и вндрению разработок в производство. Они положены в основу современной автоматизированной системы обработки лесоустроительной информации. Поскольку данная конференция посвящена проблемам, связанным с аэрокосмическми методами и ГИС-технологиями, то мы ограничимся лишь констатацией основных направлений работы НИЧ по проблеме, связанной с математическими методами и обработкой информации на ЭВМ.

В 1988 г. в соответствии с решением директивными органов, принятым по предложению, подготовленному А. С. Исаевым и В. И. Сухих, на базе НИЧ ВО «Леспроект, НИЧ «Союзгипролесхоза», ЦБНТИ лесного хозяйства и Московской аэрокосмической экспедиции был создан Всероссийский научно-исследовательский центр по лесным ресурсам (ВНИИЦлесресурс). Создатели его считали необходимым иметь в отрасли мощную головную научно-производственную организацию, которая должна вести интенсивные разработки новых методов и технологий по изучению лесов и контролю за их состоянием на основе применения средств аэрокосмической техники, математического моделирования и ГИС-технологий и оперативно внедрять их в рамках поэтапно создаваемой комплексной системы мониторинга лесов. Первые шаги в этом направлении были сделаны. Но развал экономики в конце перестроечного периода, последующий развал СССР и ликвидация Госкомлеса СССР, ВО «Леспроект» не позволили выполнить намеченное. Тематика по проблеме постепенно стала свертываться, научные разработки не были востребованы производством, что привело к деградации и, наконец, „ликвидации ВНИИЦлесресурса в конце 90-х гг. прошлого столетия.

Научным руководителем НИЧ в 1972 – 1988 гг. был автор этой статьи. Работая в Госкомлес СССР заместителем Председателя, он продолжал осуществлять научное руководство проблемой. Первым директором ВНИИЦлесресурса стал профессор А. З. Швиденко (1989 – 1992). После его отъезда на работу в Австрию в Международный институт системных исследований его сменил кандидат с-х наук В. В. Страхов.

В НИЧ и на первом этапе ВНИИЦлесресурса работали известные ныне ученые, и специалисты, вложившие существенный вклад в развитие теории и практики применения дистанционных методов, ГИС-технологий, математических методов и ЭВМ в лесном хозяйстве и лесоведении: Данюлис Е. П., Жирин В. М., Матиясевич Л. М., *Эльман Р. И.*, Азметов Р. Р., Акулов И.Ю, *Апостолов Ю.С.*, Артамонов С.И, Архипов В.И., Бабийчук С. А., Бабинская Е.А., Бакаляр А.И., Баришпол Т. И., Барталев С.А., Бахтинова Е.В., Безруков С.В., Богачев А.В., Боданский Е.Д., *Бочков И.М.*, Березин В.И., Богданов В.М., Борзова Н.Л, Боровиков Н.З., Вуколова М.В., Брейдо М.Д., Дворяшин М.В., Дрогайцев А.В., Еремеев А.Г., Ершов Д.В., Зайченко Л.П., Золотухин Ф.М., Зубков Н.М., Иваненко И.В., Касаткин Б.И., Колокольцев А. Е., Королев И.А., Кренев И.А., Кропов П.А., Кротов В.В., Кудрявцев В.С., Кузенков Л.А., Кукуев Ю.А., Лавров А.И., Ларькин А.В., Лебедева Г.С., Луценко В.Ф., Лямеборшай С.Х., Малышева Н.В., Марков В.А., Минаев В.Н., Минченко И.Е., Михалев П.В., Михалев Ю.А., Мельцианский О.В., Мойров С.Л., Непомнящий Г. П., Орлова О.Л., Паморозский Е.И., Попик А. Г., Раков Д. А., Румянцев Н.А., Савельев О.А., Свиридова Р. В., Соколов С. Ю., Сошин Б.А., *Сарманаев А.Н.*, *Соколова Е.Г.*, Соколова Н.В., Старостенко Д.А., Степанов В.Е., Степанов В.И., *Суворов И.А.,* Суслов Ю.И., Угольникова Л.Н., Филипчук А.Н., Чурилин Г.Г., Шаталов А.В., Ястребова Н.В. и др. Значительная часть из них и сейчас продолжает работать по проблемам, связанным с применением дистанционных методов и ГИС технологий при изучении природных ресурсов Земли.

THE 35 YEARS OF ORGANIZATION OF ALL-UNION ASSOCIATION "LESPROEKT» SCIENTIFIC RESEARCH PART

V. Sukhikh

Center of forest ecology and productivity problems of RAS, Moscow

The information about activity of scientific research part of "Lesproekt" All-union Association connected with development of the new and advanced methods both technologies of forests study and estimation on the base of application of the aerial-space data is resulted, and also list of the basic developed and approved normative methodical materials and basic publications (monographies and textbooks) on cases in point is resumed.

ЗНАЧЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

Р. Ф. Трейфельд, В. И. Березин

ФГУП «Севзаплеспроект», г. Санкт-Петербург

При проведении повыдельной инвентаризации лесов в процессе лесоустройства используются два вида дистанционного зондирования – аэрофото- или аэроцифросъемка и космическая съемка.

Перспективным видом ДЗЗ для этих целей является лазерное профилирование в сочетании с аэроцифросъемкой и навигационным комплексом для координатной привязки маршрута. (1)

На сегодняшний день в практике устройства лесов активной лесохозяйственой деятельности основным видом ДЗЗ остается аэрофотосъемка, как базовая техническая основа лесоустройства. Ее постепенно вытесняет аэроцифросъемка, но этот процесс пока сдерживается дороговизной цифровых съемочных средств.

Инвентаризация, как понятие, используется для идентификации достаточно разных процессов изучения лесов. Так в терминологическом словаре «Лесоустройство и лесоинвентаризация», 1993 г. приведены 4 вида инвентаризации: наземная, непрерывная (обе – аналог таксации), статистическая и фотостатистическая. В большинстве зарубежных стран под термином «инвентаризация» чаще понимают статистическую инвентаризацию лесов выборочными методами. Появился этот термин и в новом Лесном кодексе 2006 г., ст.90, где он вписан как «Государственная инвентаризация лесов».

В нашем представлении, с учетом положений нового ЛК-2006 инвентаризацию лесов следует разделять на следующие виды:

1. Повыдельная инвентаризация лесных участков – лесничеств, лесопарков, участков аренды и т.п. с определением оптимального числа таксационных признаков насаждений.

В свою очередь, такую инвентаризацию следует дифференцировать по видам:

а) наземная таксация;

б) камеральное дешифрирование материалов дистанционного зондирования;

в) смешанная с одновременным использованием а) и б).

2. Государственная инвентаризация лесов – инвентаризация лесного фонда Федерации, как итог инвентаризаций лесного фонда субъектов Федераций. По крайней мере до сегодняшнего времени такая инвентаризация представляла собой систематизированный свод итоговых данных организационных единиц лесного фонда – лесничеств, лесхозов, арендованных участков и т.п. на основе материалов лесоустройства, с корректировкой

этих данных на текущие изменения, мониторинга лесов – лесопожарного, лесопатологического, экологического, лесопользования и прочих, а также других данных о лесном фонде, корреспондирующихся с принятым форматом этого вида учета лесов.

В условиях Российской Федерации не практикуется, но возможно, проведение статистической инвентаризации высоко активных зон лесного хозяйства по примеру США, Канады, Скандинавских и других стран Европейского Союза. Информативная достаточность и точность дистанционных методов инвентаризации лесов

Более чем полувековая практика использования дистанционных методов в российском лесоустройстве дает основание представить иерархический ряд методов инвентаризации по точности (достоверности) определения таксационных признаков лесных насаждений.

Для простоты восприятия представим сравнительную информативность методов инвентаризации (таксации) лесов по трем максимально значимым таксационным признакам – высоте, относительной полноте и запасу древостоя (экспертная оценка) (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная точность методов определения таксационных показателей древостоев (среднеквадратическое отклонение, %, ±)

Таксационные показатели	Наземная глазомерно-измерительная таксация	Аналитико-измерительное дешифрирование спектрозональных АФС М 1:10 000 – 1:15 000, увеличенных	Дешифрирование спектрозональных космических снимков М 1:50 000, 1:100 000, увеличенных
Средняя высота полога	10-15	15-20	30-50
Относительная полнота	10-15	15-30	30-50
Запас древостоя	14-18	20-40	40-60

Как видим, информативные возможности дешифрирования АФС и среднемасштабной КС сильно отличаются, и если штатная лесоустроительная аэрофотосъемка позволяет дешифрировать лесные массивы (кроме эксплуатационного фонда) с приемлемой точностью, то космическая съемка среднего уровня разрешения может использоваться только для грубой инвентаризации на уровне страт, а не выделов.

Появление космической съемки высокого разрешения (КС ВР) меняет ситуацию с использованием КС для лесотаксационного дешифрирования. Высокая разрешающая способность, наличие мультиспектрального режима, цифровой вид съемочного материала и другие достоинства делают КС ВР серьезной альтернативой лесоустроительной АФС. При этом правда, следует указать на очень существенный недостаток этой съемки – отсутствие крупномасштабного стереоэффекта, а отсюда – невозможность измерительного лесного дешифрирования – измерения высоты полога. Главным сдерживающим фактором при этом остается довольно высокая стоимость этой съемки, превышающая на сегодня стандартную лесоустроительную АФС в 3-4 раза.

Информативные свойства космической съемки высокого разрешения были проверены нами на тестовом участке Ломоносовского лесхоза Ленинградской области площадью 2,0 тыс.га и наличием 530 таксационных выделов.

На тестовый участок были отобраны следующие материалы:

- Наземная таксация устройства 2006 г.
- Штатная АФС залета 2005 г. М 1:12 500, полученная путем сканирования и увеличения негатива залета 1:40 000.
- Космосъемка систем QUIKBIRD и IKONOS 2005 г., предоставленная компанией “SOVZOND”

Дешифровочные возможности КС ВР на примере QUIKBIRD и IKONOS иллюстрируют данные табл.2.

Таблица 2

Сравнительная оценка дешифровочных возможностей материалов аэрофотосъемок и сканерных космических съемок по основным таксационным показателям

Таксационный показатель	Признаки дешифрирования	Возможности дешифрирования таксационного показателя (+ -)	
		спекторозональные стереоскопические АФС М1: 12 500	космические сканерные мультиспектральные изображения IKONOS,QUICKBIRD
Преобладающая порода и состав насаждения	цвет изображения	+	+
	форма и размеры крон	+	-
Возраст	форма и размеры крон	+	-
Высота древостоя	прямое измерение разности продольных параллаксов	+	-
Относительная полнота	степень сомкнутости полога во взаимосвязи с полнотой	+	+
Запас древостоя	расчетный показатель	+	+
КАТЕГОРИИ ЗЕМЕЛЬ			
Лесные земли			
Покрытые лесом	рисунок изображения (контурная структура и текстура)	+	+
В том числе - лесные культуры	изображение рядов и куртин сомкнувшихся лесных культур	+	+
не покрытые лесом	рисунок изображения (контурная структура и текстура)	+	+
в том числе:			
- несомкнувшиеся лесные культуры	изображение рядов и куртин	+	+
- сплошные вырубки	рисунок изображения (контурная структура и текстура)	+	+
- лесосеки выборочных рубок	рисунок изображения технологической схемы лесозаготовок	+	+
- гари, погибшие насаждения	цвет, контурная структура и текстура изображения	+	+
Болота	рисунок изображения (контурная структура и текстура)	+	+
Сельхозугодья	рисунок изображения (контурная структура и текстура)	+	+

Сравнительный анализ полученных изображений на мониторе ПК и на бумажных носителях показал следующее.

1. Качество изображения в электронном виде и на бумажных носителях КА «QuickBird» хорошее. Цветоделение различных древесных пород наблюдается четко. Хорошо просматриваются границы лесотаксационных выделов, проекций групп крон и крон деревьев различных древесных пород. Несмотря на отсутствие стереоскопического изображения, вполне уверенно дешифрируются основные таксационные показатели: состав, возраст, полнота. По приуроченности к элементам рельефа, гидрографической

сети достаточно достоверно устанавливаются типы или группы типов ЛРУ. Выделение категорий земель (лесных, нелесных, покрытых и непокрытых лесом) затруднений не вызывает.

2. Участки линейной протяженности (дороги, просеки, гидрографическая и гидролесомелиоративная сеть, технологические коридоры и т.п.) просматриваются, в основном, хорошо.

3. Наиболее оптимальный масштаб увеличения 1:12500, что соответствует требованиям лесоустроительной инструкции. Масштаб 1:10000 возможен к применению в производственных условиях, в первую очередь для повторного лесоустройства, но, как показывает сравнительный анализ - это крайний предел увеличения оригинальных изображений, сопровождаемый появлением нерезкости (размытости) изображения, хотя его пикселы визуально еще не наблюдаются или наблюдаются не по всему полю изображения.

4. Рубки ухода за молодняками и санитарные рубки, проведенные равномерной выборкой деревьев по всей площади выдела, на сценах не выделялись или выделялись в единичных случаях. Но проходные и выборочные рубки, где трелевка велась по технологическим коридорам, легко определялись по «древовидному» рисунку этих коридоров. Участки лесных культур, где подготовка почвы велась плугом ПКЛ- 70, на сценах не выявлялись, видимо, из-за незначительной длины борозд (4-7 м) по причине захламленности вырубок. Участки сплошных рубок выявлялись надежно. Гарей на тестовых участках не было, но опыт производственных работ показывает, что их обнаружение и идентификация обычно не вызывает затруднений.

5. Основной недостаток сканерных снимков, представленных для анализа, - это отсутствие стереоизображения. Этот недостаток, учитывая высокое разрешение на местности изображений, является существенным и снижающим их информационные возможности в сравнении с аэрофотоснимками. По причине отсутствия стереоизображения такие характеристики, как высота полога древостоев, его сомкнутость определяются недостаточно достоверно. Поэтому материалы КС ВР могут быть рекомендованы в производство только с использованием данных предыдущего лесоустройства, где имеются сведения о средних высотах дешифрируемых таксационных выделов.

Материалы, полученные КА «IKONOS» с полной гистограммой ближнего инфракрасного диапазона БИК, по информативности несколько ниже, в соответствии с более низким разрешением на местности (4,0 м в отличие от 2,4 – 2,7 м). Изображения с урезанной гистограммой БИК для дешифровочных работ мало пригодны, так как на них, особенно при масштабах 1:10000 – 1:12500, четко прослеживаются пикселы.

По качеству изображения сцены КА «QuickBird» и «IKONOS» (мультиспектральные изображения в псевдоцветах) с разрешениями на местности порядка от 2,4 до 4,0 м с полными гистограммами БИК аналогичны цветным спектрозональным аэрофотоснимкам.

КС ВР могут заменить аэрофотосъемку при повторном лесоустройстве, если имеются материалы предыдущего лесоустройства, данные лесхоза по учету текущих изменений в лесном фонде за ревизионный период и, желательно, рабочие аэрофотоснимки предыдущего лесоустройства. В этом случае по сканерным изображениям можно выявить большинство (на уровне 90 – 95%) участков, в которых за ревизионный период произошли изменения за счет хозяйственных или стихийных воздействий и естественного роста. Точность подобного выявления будет такой же, как и при использовании аэрофотоснимков масштаба 1: 12500 – 1: 15000. Отметим, что изображения, полученные КА «IKONOS», необходимо представлять с полной гистограммой БИК.

Одним из перспективных направлений в области дистанционных методов инвентаризации лесов следует считать метод лазерного профилирования или лазерной

локации в сочетании с материалами аэро- или космосъемки высокого разрешения. Метод разработан в США и Канаде, применяется в опытном порядке при инвентаризации лесов Северной Америки и Скандинавии.

В России первый опыт лазерной таксации был проведен в Красноярском крае группой исследователей во главе с д.с.-х.н. И.М. Даниловым Института леса им. В. Н. Сукачева, СО РАН. Объектом сканирования были чистые лиственничные насаждения IV-V[a] классов бонитета. По данным авторов исследования среднеквадратическое отклонение при определении запаса простых по составу древостоев составило ±10%, что удовлетворяет требованиям лесоустроительной инструкции 1995 г. для таксации древостоев эксплуатационного фонда.(2)

Для использования лазерного профилирования в производственных условиях требуются дальнейшие исследования в типичных сложных насаждениях таежной зоны. Следует также тщательно изучить экономическую эффективность метода, учитывая при этом высокую стоимость программно-аппаратного комплекса лазерной локации.

Особенности актуализации лесоустроительной информации при повторном лесоустройстве с применением материалов космической съемки. Актуализацию лесоустроительной информации с применением материалов космических съемок следует выполнять в объектах, обеспеченных космической съемкой высокого разрешения (порядка 2,5-4-6 м на местности) и больших по площади (0,5 и более млн.га), устроенных ранее по 3 и ниже разрядам лесоустройства или по технологиям дистанционных лесоинвентаризаций, а также при необходимости актуализации других объектов, обеспеченных высокоинформативными материалами сканерных (цифровых) съемок. Актуализации могут подлежать, как планшеты и таксационные описания, так и все лесоустроительные материалы объекта или его части. Для выполнения работ по актуализации материалов прошлого лесоустройства с использованием КС ВР составляется специальная методика с описанием технологии работ, технических требований к материалам КС, организационно-технологической схемой.

В целом роль дистанционных методов инвентаризации лесов должна возрастать, поскольку, с одной стороны по объективным причинам будут снижаться объемы наземных работ, а с другой, заметно повышается информативность и доступность космических съемок высокого разрешения.

Литература

1. Е.М. Медведев. Интегральные навигационные комплексы GPS/IMU. ГЕОПРОФИ, №6, 2005 г., с.52-55.
2. И.М. Данилин, Е.М. Медведев, С.Р. Мельников. Лазерная локация земли и леса. Красноярск, 2005, 182 с.

SIGNIFICANCE OF REMOTE SENCING METHODS IN FOREST INVENTORY

R. Treyfeld, V. Berezin

“SEVZAPLESPROEKT”, Sankt-Peterburg

The review of methods of remote sensing used in Russian forest management planning is given. The concept of forest inventory in a view of the new Forest code of the Russian Federation is explained. Results of sutellite images of Quikbird and Ikonos testing during 2006 in Leningrad region are presented. Proposals for remote sensing methods application for Russian Federation forest fund inventory were made.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГИОНАЛЬНО-АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ОБУЧАЕМОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ MODIS

И.А. Уваров, С.А. Барталев

Институт космических исследований Российской Академии Наук, г. Москва

Леса являются наиболее значимой составляющей растительного покрова планеты и играют важную роль в глобальных экологических процессах. Непрерывная динамика лесов вызывает необходимость получения регулярно обновляемых данных об их пространственном распределении, а также изменении качественных и количественных характеристик. Карта наземных экосистем Северной Евразии, созданная в рамках проекта GLC2000 по спутниковым данным прибора SPOT-Vegetation с пространственным разрешением 1,15 км, отражает распределение на территории региона основных типов лесов по состоянию на 2000 год [1]. В настоящее время указанная карта является наиболее современным информационным источником о лесном покрове Северной Евразии на субконтинентальном уровне.

Вместе с тем, в настоящее время существует потребность в повышении уровня пространственной детальности картографической информации о лесах и обеспечении возможности ее регулярного обновления. Проводимые в ИКИ РАН исследования направлены на разработку автоматического метода картографирования лесов и других компонентов наземных экосистем Северной Евразии по данным Terra-MODIS с пространственным разрешением 250 м [2]. При этом предполагается применение основанного на методах обучаемой классификации подхода с использованием в качестве основного источника опорных данных для обучения ранее созданной карты наземных экосистем более низкого пространственного разрешения. Разработанная к настоящему времени в ИКИ РАН технология построения по ежедневным спутниковым данным MODIS, очищенных от влияния облачности, теней и других нежелательных факторов, композитных изображений за различные периоды наблюдений позволяет подготовить спутниковые данные необходимого для картографирования наземных экосистем уровня качества [3].

Для проведения экспериментов по разработке алгоритма автоматической классификации лесов использованы композитные изображения MODIS, сформированные за летний и зимний периоды 2005 года. Композитное изображение летнего периода содержит данные, полученные в трех спектральных каналах MODIS: 0,62-0,67 мкм, 0,84-0,88 мкм, 1,63-1,65 мкм, а изображение зимнего периода включает данные только в первых двух из указанных спектральных каналов. Поскольку исходное пространственное разрешение данных в спектральном канале 1,63-1,65 мкм составляет 500 м, в настоящей работе была применена методика искусственного повышения разрешения изображения до 250 м с использованием данных первых двух каналов.

Алгоритм классификации лесов по данным MODIS включает в себя два основных этапа: построение обучающей выборки на основе карты наземных экосистем GLC2000 и контекстно-зависимое распознавание типов лесного покрова с использованием полученной опорной выборки.

Необходимость разработки и применения специальной методики формирования обучающей выборки обусловлена следующими факторами:

– различие величин пространственного разрешения изображений MODIS и карты, используемой в качестве источника обучающих данных (250 м и 1,15 км соответственно);

– изменения растительного покрова в период с 2000 по 2005 г., то есть между временем получения данных съемки MODIS (2005 г.) и, использованными для разработки карты GLC2000, данными SPOT-Vegetation (2000 г.);
– наличие имеющих место и требующих фильтрации ошибок в используемой для построения обучающей выборки карте GLC2000.

В силу указанных выше причин, для формирования обучающей выборки с использованием карты наземных экосистем Северной Евразии GLC2000 необходим отбор пикселов, с наибольшей вероятностью соответствующих действительности, для которого разработана методика, основанная на следующих двух предположениях:
– большинство пикселов карты, используемой в качестве источника обучающих данных, не претерпели изменений и не содержат ошибок распознавания типов наземных экосистем;
– ошибочно распознанные пикселы используемой для построения обучающей выборки карты в действительности принадлежат к одному из характерных для данного региона (ближайшего окружения) классов.

Построение обучающей выборки реализовано с использованием скользящего окна, в пределах которого для каждого класса строится трехмерная гистограмма яркостей в спектральных каналах летнего композитного изображения MODIS. Полученная для каждого класса гистограмма состоит как из характерных для данного класса диапазонов яркостей, так и из диапазонов, соответствующих другим классам в силу наличия в исходной карте наземных экосистем ошибочно распознанных пикселов. Сопоставление гистограммы яркостей для заданного класса с гистограммами других классов, также вычисленных в пределах скользящего окна, позволяет выявить ошибочные диапазоны яркостей, фактически характерные для других классов, а также переходные диапазоны, т.е. встречающиеся более чем в одном классе. Алгоритм очистки гистограмм яркостей, встречающихся в пределах скользящего окна, классов основан на их последовательном взаимном вычитании. После такой обработки гистограммы яркостей содержат лишь диапазоны, являющиеся уникальными для данного класса, а в обучающую выборку включаются лишь пикселы с соответствующей очищенным гистограммам спектральной яркостью классов.

Следующий этап включает непосредственно классификацию спутникового изображения в скользящем окне для определения опорных спектральных характеристик каждого класса по лежащей внутри окна обучающей выборке. В выполненных экспериментах для классификации были использованы одновременно пять спектрально-временных признаков, а именно значения спектральной яркости в трех каналах летнего и двух каналах зимнего композитных изображений MODIS. В основе классификации, осуществляемой с помощью метода максимального правдоподобия, лежит выбор класса из заданного множества на основе критерия наибольшей близости опорной спектральной яркости к спектральной яркости классифицируемого пиксела.

Для реализации описанного метода был создан комплекс программ, работающих под управлением систем UNIX или Windows. Это позволило выполнить эксперименты по автоматическому картографированию по данным MODIS наземных экосистем ряда тестовых участков в Европейской части России.

Литература

1. Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // International Journal of Remote Sensing. - Vol. 24. - № 9 - 2003. - P. 1977-1982.
2. Уваров И.А., Барталев С.А. Разработка обучаемого алгоритма классификации наземных экосистем по данным Terra-MODIS с использованием опорных тематических данных // Четвертая открытая всероссийская конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г. http://www.iki.rssi.ru

3. Егоров В.А., Барталев С.А. Построение временных серий улучшенных композитных изображений по данным MODIS для мониторинга растительности // Четвертая открытая всероссийская конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г. http://www.iki.rssi.ru

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC REGIONALLY ADAPTIVE ALGORITHM OF SUPERVISED CLASSIFICATION OF FORESTS USING MODIS SATELLITE DATA

I. Uvarov, S. Bartalev

The Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow

The study is aimed at development of automatic method for forest mapping using 250 m Terra-MODIS data and the 1 km GLC2000 Northern Eurasia land cover map as training data set. The proposed algorithm consists of two main steps, such as cleaning of training samples from the GLC2000 map for selected number of classes, and then maximum likelihood classification using the set of samples in the limited moving window surrounding each considered pixel.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ОТЧЕТНОСТИ О ДЕЙСТВУЮЩИХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Е. В. Флитман [1], А. А. Галеев [1], Д. В. Ершов [2], Р. В. Котельников [3], Е. А. Лупян[1], А. А. Мазуров [1], А. А. Прошин [1]

[1]Институт космических исследований РАН, г. Москва
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва
[3]ФГУ «Авиалесоохрана» г. Пушкино, Московской области

Одной из наиболее актуальных задач, связанных с созданием методов и систем обработки спутниковых данных, является в настоящее время задача создания систем, обеспечивающих получение объективных численных характеристик различных процессов и явлений. К таким характеристикам, в частности, относится информация площадях, пройденных огнем и поврежденных лесными пожарами. Для получения такой информации в рамках Информационной системы дистанционного мониторинга пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) [1-3] был создан и в 2005 году введен в эксплуатацию специализированный блок (система), обеспечивающий полностью автоматизированную обработку данных для построения соответствующей отчетности. Настоящий доклад посвящен описанию основных возможностей и особенностей построения данной системы.

Система формирования отчетности представляет собой комплекс программных средств и интерфейсов, позволяющих динамически формировать обобщенные и детализированные отчетные документы о пожарах на основе данных, хранящихся в БД ИСДМ Рослесхоз. Система обеспечивает, в частности, получение:

- полной информации по каждому конкретному пожару, детектированному по спутниковым данным (сроки наблюдений; динамика развития; площади, пройденные огнем, привязка к населенным пунктам, лесхозам, авиабазам, субъектам РФ, зонам охраны лесов; просмотр карт области пожара на каждые сутки его действия, и т.п.)
- информации о площадях, пройденные огнем, и площадях гарей, полученной по данным спутниковых наблюдений

- информации о соответствии результатов спутниковых и наземных наблюдений
- официально установленных отчетных форм по состоянию на любой момент времени в течение пожароопасного сезона.

При разработке системы формирования отчетности и средств доступа к ней ставились следующие задачи:

- Динамическое формирование отчетных документов на основе текущего состояния баз данных (актуальность информации в любой момент времени)
- Возможность предоставления данных в различных выходных форматах (HTML, XML, PDF)
- Возможность получения информации по различным критериям
- Доступ пользователей к информации в режиме online (через стандартный браузер)
- Масштабируемость (возможность добавления новых выходных документов)
- Возможность запроса документов по состоянию на любую дату в течение пожароопасного сезона
- Автоматическое формирование в режиме online картографических иллюстративных материалов, соответствующих выбранным из базы данным
- Возможность формирования документов для выдачи на печать
- Возможность рассылки выходных документов пользователям по электронной почте и FTP в автоматическом режиме.

Структура системы автоматизированного формирования отчетности о пожарах. Основными компонентами системы являются следующие основные логические блоки, представленные на рисунке:

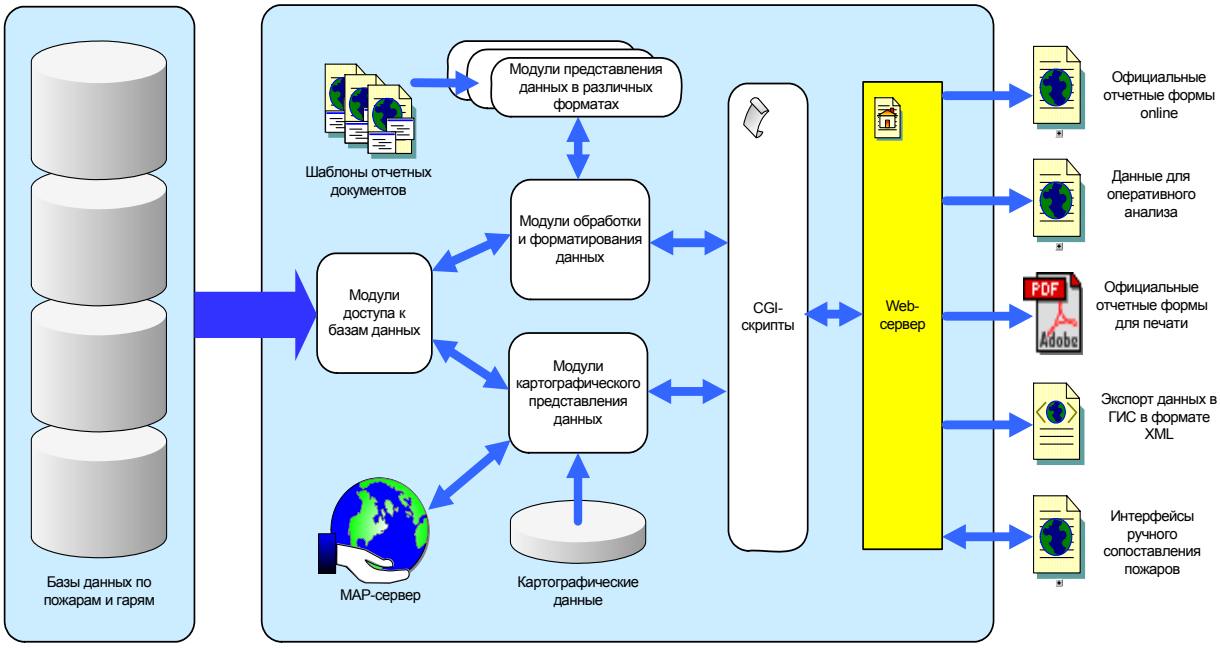
- **Блок геопространственной привязки** осуществляет привязку пожаров, детектированных по спутниковым данным, к различным пространственно-географическим объектам (населенным пунктам, лесхозам, авиабазам, субъектам Федерации, часовым поясам, зонам космического мониторинга, и т.п.).
- **Блок получения информации из баз данных** представляет собой специализированный модуль, обеспечивающий выполнение стандартизированных запросов к БД ИСДМ Рослесхоз.
- **Блок форматирования текстовых данных** обеспечивает форматирование наборов данных, используемых для генерации отчетных документов. В настоящее время в системе реализована выдача данных в форматах HTML, PDF и XML.
- **Блок картографического представления данных** обеспечивает оперативное формирование иллюстративного материала (схемы, карты пожаров, и т.д.) «на лету» в виде графических растровых файлов, которые передаются в интерфейс пользователя.
- **Блок интерфейсов** включает в себя набор web-интерфейсов и процедур, которые запускаются по запросу пользователя web-сервером. Эти процедуры являются надстройкой над перечисленными выше блоками, используя их для получения выходных отчетных документов.

Доступ к выходным документам реализован на основе web-интерфейсов на серверах системы ИСДМ Рослесхоз (http://www.nffc.aviales.ru). Выходной блок системы включает в себя следующие основные наборы пользовательских интерфейсов:

- Web-интерфейсы для получения оперативных официально утвержденных отчетных форм на произвольную дату в течение пожароопасного сезона
- Web-интерфейсы дополнительных отчетных документов для оперативного анализа состояния пожаров, как по данным спутникового мониторинга, так и по данным наблюдений ФГУ «Авиалесоохрана»
- Интерфейсы для распечатки официальных отчетных форм в формате PDF
- Интерфейсы для экспорта данных в ГИС в формате XML

- Набор служебных интерфейсов для диспетчеров авиабаз ФГУ «Авиалесоохрана», позволяющих провести/скорректировать сопоставления крупных пожаров по данным наземных и авиационных наблюдений с пожарами, детектированными автоматически средствами космического мониторинга.

Структура системы позволяет легко наращивать интерфейсы по мере возникновения потребности в дополнительных отчетных данных.



Литература

1. *Беляев А.И. , Коровин Г.Н. , Лупян Е.А.* Состояние и перспективы развития Российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // "Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов" Сборник научных статей Выпуск 3. М. Азбука-2000, 2006 г том 1 с. 341-3509

2. *Беляев А.И. , Коровин Г.Н. , Лупян Е.А.* Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей - М. "GRANP-Poligraph", 2005 том 1 с. 20-29

3. *Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, С.А. Тащилин.* Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей Москва Полиграф сервис, 2004 с 47-57.

AUTOMATED SYSTEM FOR GENERATING REPORTS ON ACTIVE FOREST FIRES AND THEIR IMPACT FROM SATELLITE DATA

E. Flitman, A. Galeev, D. Ershov, R. Kotelnikov, E. Loupian, A. Mazurov, A. Proshin

Space Research Insitute (IKI) RAS, Moscow, Russian Federation

The report describes the structure and capabilities of the subsystem for automated generation of forest fire reports. The subsystem has been developed within the framework of Information System for Remote Monitoring of Fires (ISDM Rosleskhoz) of Federal Agency of Forestry. The module performs automated generation of reports and statistics on results of

forest fires observation from space in detailed and aggregated form for operational departments of federal state enterprise “Avialesookhrana”. Described are system structure, its functional capabilities, specifics of organization, provided solutions. Examples of output information products are provided.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ВЫРУБОК В ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ПРИБОРА TERRA-MODIS

Т. С. Ховратович, С. А. Барталев, В. А. Егоров, М. А. Медведева

Институт Космических Исследований, Москва

Использование временных серий данных, получаемых спутниковым прибором MODIS, открывает потенциальную возможность регулярной оценки изменений в лесах России на национальном уровне. Насущная необходимость разработки методов спутникового мониторинга вырубок, как одного из наиболее мощных факторов антропогенного воздействия на леса таежной зоны, обуславливается в этой связи задачами получения объективных ресурсно-экономических оценок и определения экологических последствий лесопользования.

Выполненные исследования позволили оценить возможности автоматического детектирования по данным MODIS сплошных вырубок в таежных лесах Европейской части России. Для исследований использовались полученные на основе данных ежедневных спутниковых наблюдений в период с 2002 по 2005 годы и очищенные от влияния облачного покрова помесячные композитные изображения в трех спектральных каналах с пространственным разрешением 250м (красный и ближний ИК) и 500м (средний ИК). Автоматический метод выявления вырубок включает в себя следующие шаги:

1. поканальная радиометрическая нормализация изображений;
2. детектирование радиометрических изменений на основе поканальных разностей изображений за последовательные пары лет;
3. выявление изменений в лесах, вызываемых вырубками.

Поканальная радиометрическая нормализация снимков проводится для уменьшения влияний различий оптических свойств атмосферы и фенологического состояния растительности. Для нормализации используется уравнение линейной регрессии

$$Y = aX + b,$$
$$a = r\frac{\sigma Y}{\sigma X},$$
$$b = \overline{Y} - a\overline{X},$$

где r - коэффициент корреляции, $\overline{Y}, \overline{X}$ - средние значения и $\sigma X, \sigma Y$ - стандартные отклонения от среднего значения, вычисленные по «неизмененным» пикселам изображений. «Неизмененными» считаются те пиксели, значения которых отстоят от среднего значения не более чем на одно стандартное отклонение по изображению разности. Нормализация проводится независимо по каждому из спектральных каналов. В качестве базового изображения, то есть изображения, к гистограмме яркостей которого приводятся гистограммы других сцен, выбрана летняя мозаика MODIS за 2002 год.

Детектирование радиометрических изменений основывается на построении поканальных разностей летних мозаик MODIS за последовательные пары лет с 2002 по 2005 годы. Пиксел изображения считается измененным, если значение его спектральной яркости не выходит за пределы двух стандартных отклонений от среднего значения

в соответствующем скользящем окне размером 500x500 пикселов. Подобная процедура детектирования изменений может быть применима к спутниковым изображениям, покрывающим большую территорию, например, территорию Европейской части России, в силу наличия адаптивного порога вычисляемого локально.

Для выявления связанных с вырубками изменений в лесах могут быть эффективно использованы помесячные композитные изображения MODIS (в частности, в спектральном канале 620-670 нм), построенные за период июня-августа предшествующего времени появления искомых изменений и последующего за ними лет. Кроме того, в качестве вспомогательной входной информации для алгоритма выявления вырубок используется маска покрытой лесом площади по состоянию на 2002 год, предварительно построенная с использованием зимнего и летнего композитного изображений MODIS. Соответствующие участкам радиометрических изменений пикселы для покрытых лесом территорий объединяются в связанные области, а затем с помощью следующих наборов правил выполняется анализ совокупности радиометрически измененных пикселов с целью выбора, так называемых, маркеров, то есть пикселов с высокой вероятностью, принадлежащих участкам вырубок. При этом выделяются маркеры двух следующих типов:

- маркеры первого типа:
  $R^{\text{Июнь } t_2} - MIN(R^{\text{Июнь } t_1}, R^{\text{Июль } t_1}, R^{\text{Август } t_1}) \geq MAX_{i,j}(|R^i - R^j|)$
  $MIN(R^{\text{Июнь } t_2}, R^{\text{Июль } t_2}, R^{\text{Август } t_2}) > MAX(0.025, R^{\text{Июнь } t_1}, R^{\text{Июль } t_1}, R^{\text{Август } t_1})$
  $MAX(R^{\text{Июнь } t_1}, R^{\text{Июль } t_1}, R^{\text{Август } t_1}) < 0.035,$
  $MAX(R^{\text{Июнь } t_1}, R^{\text{Июль } t_1}, R^{\text{Август } t_1}) - MIN(R^{\text{Июнь } t_1}, R^{\text{Июль } t_1}, R^{\text{Август } t_1}) < 0.01,$
- маркеры второго типа:
  $R^{\text{Июнь } t_2} - MIN(R^{\text{Июнь } t_1}, R^{\text{Июль } t_1}, R^{\text{Август } t_1}) \geq MAX_{i,j}(|R^i - R^j|)$

где R – яркость в спектральном канале 620-670 нм в соответствующий месяц года; i, j – последовательные месяцы; t_1 – год до вырубки и t_2 – год после вырубки.

Для каждой связной области вычисляется относительное содержание типов маркеров в ней. Если область содержит более 30 % маркеров второго типа и хотя бы один маркер первого, она считается вырубкой. В результате применения метода была построена карта сплошных вырубок в лесах Европейской части России в период с 2002 по 2005 год.

Необходимым этапом оценки полученной карты является ее валидация и оценка ее точности с помощью данных из разных источников. Одним из способов валидации выбрано сравнение построенной по данным MODIS карты вырубок с результатами анализа спутниковых изображений высокого разрешения (Landsat-ETM+ и МСУ-Э) для выборочных тестовых участков в Коми и Калужской области. Согласно проведенному анализу примерно 70% площади вырубок, полученных по данным MODIS, выявляется по данным высокого разрешения и, соответственно, 30% площади не определяется. Этот факт обусловлен, прежде всего, разным разрешением спутниковых приборов, в результате чего, выявленные по данным высокого разрешения участки вырубок могут занимать только часть пиксела MODIS. По имеющимся данным только примерно 60% площади вырубок, определенной по данным высокого разрешения, совпадает с площадью выявленной по данным MODIS и, соответственно, 40% площади не выявляется. Для данного факта может быть много причин, например большое количество пикселей MODIS, в которых доля вырубки очень мала. Следовательно, на сегодняшний день в рамках предложенного подхода достаточно точное определение площадей вырубок только с использованием данных MODIS. Возможные пути повышения точности оценок площадей, выявляемых по данным MODIS, вырубок могут быть сопряжены, на-

пример, с использованием методов анализа спектральных смесей, или с комбинированным использованием получаемых по данным MODIS результатов с выборочными изображениями высокого пространственного разрешения.

Наряду с анализом возможностей определения площадей вырубок по данным MODIS была проведена оценка уровня детектируемости вырубленных участков в зависимости от их площади. При этом вырубка считалась отдетектированной по данным MODIS даже при частичном ее совпадении с соответствующим участком, выявленным по спутниковым данным высокого пространственного разрешения. Следующая таблица иллюстрирует зависимость уровня детектируемости вырубок по данным MODIS от величины их площади.

Таблица

Зависимость уровня «детектируемости» вырубок по данным MODIS от величины их площади

Площадь вырубок, га	< 1	1-4	4-6	6-8	8-12	12-16	16-24	>24
Количество вырубок	60	15	38	50	32	44	62	103
Доля правильно определенных вырубок, %	66%	75%	77.5%	83.5%	90%	93.5%	96.5%	99%
Доля ложно определенных вырубок, %	15%	11,5%	9%	7%	6%	5%	3.5%	3%

В частности отметим, что даже вырубки площадью менее 1-4 га, то есть не превышающие размеров одного пикселя MODIS, правильно выявляются в 75% случаев, а при достижении площадей вырубок 12 га и более вероятность их правильного детектирования уже превышает 90%.

POSSIBILITY EVALUATION OF AUTOMATIC LOGGING DETECTION IN TAIGA FOREST USING TERRA-MODIS SATELLITE DATA

T. Khovratovich, S. Bartalev, V. Egorov, M. Medvedeva

Space Research Insitute (IKI) RAS, Moscow, Russian Federation

MODIS data series provide an opportunity for regular change detection in the Russian forest on national level. The study concerns automatic logging detection algorithm based on MODIS satellite monthly mosaics. As the result map of clear-cuts for European part of Russia was developed. Validation of the produced map was performed using high-resolution satellite Landsat-ETM+ and MSU data and showed high reliability of the detection method.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ В МОНИТОРИНГЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО ПРИРОДНОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

М. В. Цыдыпова, В. А. Борхонов, М. Г. Цыренова

Бурятский государственный университет,
Бурятский центр информатизации Байкальского региона, г. Улан-Удэ

Леса Забайкалья играют важную роль как в процессах глобального изменения климата и сохранения биоразнообразия Северной Евразии, так и в экономике Байкальского региона. Для сохранения лесных ресурсов и контроля их состояния необходимо развивать мониторинг лесных экосистем. Для мониторинга лесных экосистем необходима актуальная, объективная, масштабная информация. Наиболее подходящими для решения поставленной задачи могут быть данные ДЗЗ. Данные аэро- и космосъемки

различного масштаба могут использоваться для прямого обнаружения и картографирования нарушений, а так же для создания карт природопользования.

Разработанные в последние десятилетия компьютерные технологии позволяют широко применять ГИС для картографирования состояния лесов и анализа воздействия человека на лесную растительность. Результаты картографирования состояния растительности по данным ДЗЗ используются для планирования природоохранных мероприятий и оценки эффективности существующей системы особо охраняемых природных территорий.

Растительность, образующая внешний покров земной поверхности, в первую очередь отражается на космических снимках и является индикатором при дешифрировании других компонентов ландшафта. Крупномасштабные материалы с хорошим разрешением позволяют получать подробную характеристику состояния растительного покрова, что особенно важно для горных труднодоступных территорий. Сопоставление данных дистанционного зондирования с интервалом в несколько лет дает возможность оценить динамику растительного покрова, связанную с такими факторами, как вырубки и пожары – основные бедствия лесных территорий, в том числе и лесов Бурятии. Вместе с тем, исследователи [3] отмечают, что дешифрирование космических снимков не обеспечивает полной таксационной информации о лесах (породном составе, возрасте, полноте насаждений, бонитете и запасах древесины), хотя в пределах отдельных участков использование вегетационных индексов и методов классификации позволяет разделить лиственные и хвойные леса, а в пределах каждой группы осуществить выделение районов, занятых светло и темнохвойными мелко и широколиственными породами.

Наиболее универсальным и распространенным программным обеспечением (ПО) для картографирования состояния лесов и анализе воздействия человека на лесную растительность являются продукты Environmental System Research Institute (ESRI) – Arc/Info, ArcView и ArcGIS. ПО ESRI позволяют создавать, анализировать и представлять пространственную информацию, совмещать разнородные картографические материалы, производить поиск необходимой информации в базе данных и комбинировать информацию по различным параметрам [1].

Данная работа производилась с помощью ПО ArcView 3.2 и ERDAS Imagine 8.7 с применением модулей расширения Image Analysis и Spatial Analyst. Для составления карты растительности бухты Онкогонской производилось дешифрирование космического снимка со спутника Landsat ETM+ с разрешением 30 метров на основе алгоритма классификации ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis - итеративный самоорганизующийся анализ данных. Метод автономной классификации многоканальных изображений, выполняющий кластеризацию пространства спектральных признаков путем чередующихся шагов классификации по заданному количеству эталонов и коррекции эталонов по результатам классификации)[2]. Используемая комбинация каналов 5-4-3 наиболее полно разделяет типы растительности, при этом не были применены какие либо преобразования исходных данных во избежание нарушения корреляции между каналами. К сожалению, не удалось различить близкие по отражательной способности объекты. Одна из причин такой проблемы заключается в низкой разрешающей способности сканера для такого крупномасштабного картографирования. Так как выделение растительных ассоциаций (проведение таксации лесных формаций) на основе только космической съемки невозможно, были проведены экспедиционные исследования.

Полевые работы комплексной геоботанической экспедиции состоялись 1-10 августа 2006 г. на территории заповедной зоны Забайкальского природного национального парка (ЗНП) в бухте Онгоконской (Чивыркуйский залив). Причиной выбора именно данного участка ЗНП явилось отсутствие антропогенного воздействия, возможность проследить все типы растительности, характерные для Забайкальского национального

парка. В ходе полевых работ было проведено 12 геоботанических описаний конкретных растительных сообществ, заложено 10 почвенных разрезов, 4 геоботанических профиля, собран уточняющий гербарный материал, сняты координатные точки GPS в местах описания растительности.

Территория национального парка входит в зону подтаежных лесов южной тайги Сибири. В структуре растительного покрова хорошо прослеживается вертикальная поясность, характерная для гор Забайкалья. В составе лесных насаждений господствуют хвойные породы: сосна (Pinus sylvestris)- 33,6%, кедровый стланик (Pinus pumila) - 29,2%, кедр (Pinus sibirica) - 13,5%, лиственница Гмелина (Larix gmelmii) - 9,1%, пихта сибирская (Abies sibirica) - 5,4%. Лиственные насаждения занимают незначительные площади: береза каменная и широколистная (Betula ermanii, B. platyphylla) - 4,3%, осина (Populus tremula) - 3,9%.

В распределении горно-таежных лесов парка существует ряд особенностей. В отличие от континентальных гор Сибири, где преимущественное развитие получили лиственничные (Larix gmelmii) и кедрово-лиственничные (Pinus sibirica - Larix gmelmii) леса в лесных поясах, в национальном парке площади их невелики (около 14 тыс. га). Распространены они островами по речным террасам на моренах. Для северо-запада (Онгоконская бухта) характерны отдельные участки темнохвойных лесов (Abies sibirica), которые в большинстве своем тяготеют к наиболее увлажненным участкам побережья (рис.1).

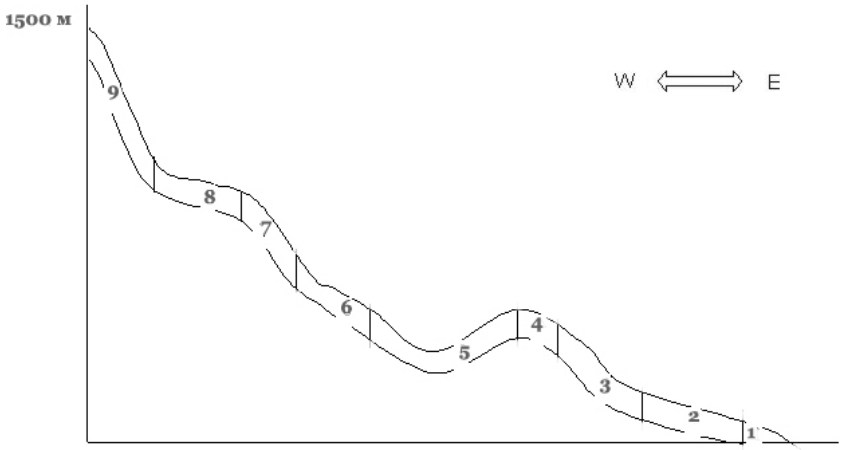


Рис. 1. Схема смены растительных сообществ на восточном макросклоне хребта Северный

Условные обозначения:

1- прибрежная часть

2 – мелколиственные леса (Betula platyphylla, Populus tremula)

3 – смешанные леса (Pinus sylvestris, Betula platyphylla, Populus tremula)

4 - сосновые леса (Pinus sylvestris)

5 – темнохвойные леса (Abies sibirica, Pinus sibirica, Populus tremula)

6 – сосновые леса с участием осины

7 – кустарниковые заросли (Pinus pumila, Betula divaricata, Dushekia fruticosa)

8 – кедровый стланик

9 – степные склоны

Удалось просмотреть различные типы растительности и ландшафтов, их смену.

На основе полученных материалов и дешифрирования космического снимка со спутника Landsat была составлена предварительная карта растительности бухты Онкогонской с выделением следующих классов: вода, пихтарники, сосняки, кедровый стланик, смешанный хвойный лес, осинники и березняки, степные участки, болото, каменистые поверхности с фрагментарной растительностью (рис.2).

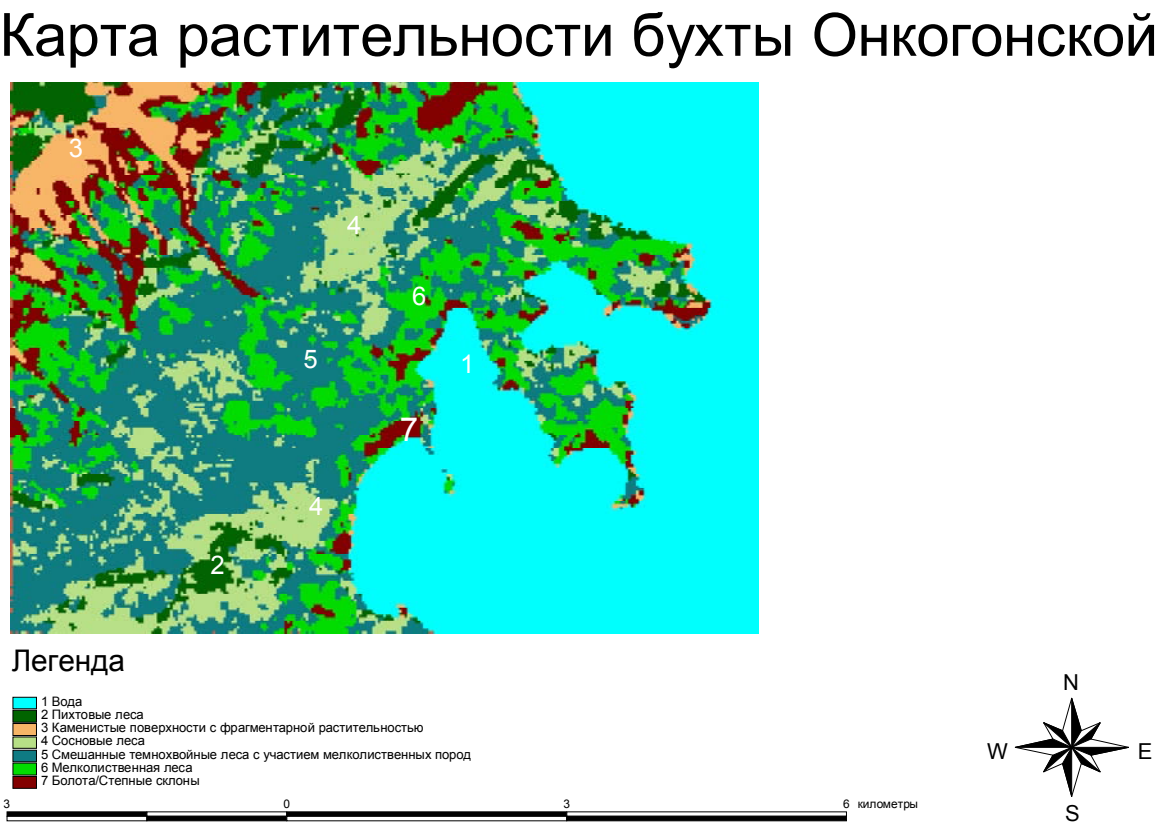


Рис. 2.

Внедрение ГИС-технологий в научную деятельность Забайкальского природного национального парка позволит модернизировать систему управления экологическим мониторингом состояния растительности и антропогенной нарушенности. Использование разновременных данных космической съемки позволит изучать динамику лесных покровов. ГИС можно широко использовать для ведения баз данных лесоустройства и управления лесными ресурсами.

Литература

1. Инженерная экология: Учебник/Под ред. проф. В.Т. Медведева.-М.:Гардарики, 2002.
2. http://www.dataplus.ru/Dict/show.asp?formSF=Isodata&boxSF=Term
3. Книжников Ю.Ф., В.И.Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М., Изд. МГУ, 1991.-206 с.

REMOTE SENSING DATA APPLICATION TO THE TRANSBAIKAL NATIONAL PARK FOREST ECOSYSTEM MONITORING

M. Tsidypova, V. Borkhonov, M. Tsyrenova

Buryat State University, Ulan-Ude

The vegetation is the main identification attribute which is the result of the interaction of all the natural and other factors. The data of the remote sensing allows to characterize the given attribute in the best way. Creation of the subject maps is based also on the data received by field researches, by the method of key sites. The purpose of our work is creation of a large-scale map of vegetation of the Onkogon Bay. The research work involves mapping of the Landsat ETM+ space images.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ВЫДЕЛЕНИЮ ВЫМОКАЮЩИХ ЛЕСОВ ПО МНОГОЗОНАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

А. С. Черепанов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Под вымоканием лесов понимается угнетение и гибель лесных массивов вследствие длительного застоя воды, заболачивания территории, подъема уровня грунтовых вод и засоления почв. Проблема вымокания лесов характерна для равнинных, слабо дренированных районов, с неглубоким залеганием грунтовых вод и повышенным увлажнением. В частности, она актуальна для обширных районов Западно-Сибирской равнины. В условиях повышенной обводненности грунтов, а на большей части территории и заболоченности, прокладка автомобильных дорог и магистральных нефте- и газопроводов требует возведения мощных насыпей, что приводит к нарушению гидрологического режима, и как результат - к деградации и вымоканию лесных массивов. Это относится и к территории Курганской области, на примере которой выполнено исследование.

Среди экологических проблем Курганской области особое место занимает процесс антропогенного вымокания мелколиственных лесов, которые преобладают на этой территории (более 68 % всей лесопокрытой площади) и типичны для ландшафтов Зауралья.

Существует целый ряд причин, способствующих необратимому заболачиванию и стимулирующих этот процесс. Равнинность, слабая расчленённость рельефа обусловливают плохой дренаж территории. Поверхность в районе исследований осложнена пологими и широкими лощинами и ложбинами, связывающими озерные котловины. К этим природным факторам прибавился и антропогенный фактор, в виде автомобильных дорог, перегородивших долины стока. Прокладка дорог привела к изменению режима поверхностного и грунтового стока. Перехват стока вод привел к усиленному обводнению прилегающих к дорогам участков и вымоканию лесов.

В зонах затопления оказались березовые леса, которые при длительном застое воды и засолении почв в результате подъема грунтовых вод начинают вымокать и деградировать. При вымокании происходят изменения в анатомии древесной растительности, в видовом составе травяного покрова, что в конечном итоге приводит к смене одной экосистемы на другую: на месте лесов возникают болота. В результате всего этого наблюдаются следующие процессы:

1. Деградация лесных экосистем приводит к уменьшению биологического разнообразия растительных сообществ, что в свою очередь влияет на изменения животного мира.
2. Вследствие антропогенного вымокания, деревья теряют листву, а затем гибнет и само дерево. В конечном итоге это приводит к исчезновению лесного массива и усилению ветровой эрозии на участках пашни между бывшими лесными массивами.
3. Сокращаются рекреационные зоны лесов.
4. Возникающие заболоченные массивы затрудняют передвижение на местности, теряется эстетическое восприятие ландшафта.

Сложность изучения развития вымокания состоит в том, что это длительный процесс, который занимает несколько лет. Поэтому, для определения масштабов и закономерностей пространственного распространения, скорости развития процесса вымокания лесов необходимо создание серии карт, которые бы отражали состояние лесов за разные годы. Основой для создания таких карт должны послужить результаты компьютерного дешифрирования многозональных космических снимков (Landsat/MSS, Landsat/TM, Ресурс-0/МСУ-Э, Terra/ASTER, Landsat/ETM).

Цель исследования - разработка методики автоматизированной обработки космических снимков для картографирования вымокания лесов. Для этого проведены геоботанические исследования на тестовых участках. Для каждой точки (всего более 170 точек) составлялось описание состояния леса и окружающей территории, проводилось фотографирование (около 2000 фотографий). В работе применялся метод полевой фиксации пространственного положения точек наблюдения с помощью GPS-приемников (Garmin 12). В результате полевых работ, были выделены 4 стадии вымокания лесов, которые отражают характерные изменения, происходящие в фитоценозах. При вымокании происходит нарушение клеточной структуры, состава пигментов, что должно привести к изменению значений яркости в разных зонах электромагнитного спектра. Поэтому одной из основных задач исследования было изучение изменения коэффициентов яркости лесов, находящихся на разных стадиях вымокания, для последующей идентификации деградирующих лесов на космическом снимке.

Анализ коэффициентов яркости проводился по космическим снимкам Terra/ASTER L1A в 9 спектральных зонах (0.52–0.60; 0.63–0.69; 0.76–0.86; 1.600–1.700; 2.1452.1854; 2.185–2.225; 2.235–2.285; 2.295–2.365; 2.360–2.430). Для снимков была выполнена геометрическая и радиометричекая коррекция (значения яркости в единицах $W/m^2/sr/$мкм).

Для оценки возможности выделения стадий вымокания лесов по спектральным характеристикам был проведен анализ графиков спектральных признаков вымокающих лесов в двумерном пространстве. По оси x и y откладывались значения яркости участков лесов на разных стадиях вымокания в 9 спектральных диапазонах. По данным графикам были определены наиболее информативные спектральные каналы для выделения вымокающих (с подразделением лесов на 4 стадии вымокания) и определены границы значений яркостей для стадий вымокания. Кроме этого выполнена оценка возможности разделения стадий вымокания на основе значений вегетационных индексов. Большинство из рассмотренных в работе индексов - NDVI, RVI, IPVI, DVI, TVI, SAVI рассчитываются по значения яркости в красной и ближней инфракрасной зонах электромагнитного спектра. В результате были получены значения коэффициентов для разных стадий вымокания. К сожалению, на основе вегетационных индексов удалось отделить только 1 и 2 стадии от 3 и 4. Поэтому необходима модификация известных и поиск новых вегетационных индексов для выделения вымокающих лесов на разных стадиях. Работа в данном направление продолжается.

Полученные значения коэффициентов яркостей в 4 зонах электромагнитного спектра (0.52–0.60; 0.63–0.69; 0.76–0.86; 1.600–1.700) и значения вегетационных индексов использовались для задания детерминирующих функций в способе классификации на основе «дерева решений». Данный способ, на мой взгляд, является наиболее удобным для автоматизированного выделения вымокающих лесов по многозональным космическим снимкам. Преимущество данного способа классификации над другими алгоритмами (минимальное расстояние, способ параллелепипедов, способ максимального правдоподобия и др.) – возможность использовать для классификации не только значения яркости пикселов в разных зонах, но и значения их в производных от снимка изображениях – математические комбинации спектральных каналов, вегетационные индексы, значения главных компонент и др.

На рисунке представлены основные этапы предложенной методики автоматизированного выделения вымокающих лесов по многозональным космическим снимкам.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности автоматизированного выделения вымокающих лесов по многозональным космическим снимкам высокого разрешения.

Следующий этап работы по изучению вымокания лесов – определение причин вымокания путем сопоставления пространственного распространение вымокающих лесов с различными географическими факторами природного (рельеф, глубина залегания и степень минерализации грунтовых вод и др.) и антропогенного характера (автомобильные, железные дороги и др.). Для подтверждения гипотезы о влиянии автомобильных дорог на процессы вымокания лесов планируется детальное изучение механизмов стока территории на основе ЦМР.

Выполнено по программе ведущих научных школ НИ - 8306.2006.5

METHODICAL APPROACHES TO THE AUTOMATED ALLOCATION OF THE OVER MOIST FORESTS ON THE MULTISPECTRAL SPACE IMAGES OF HIGH RESOLUTION (ON AN EXAMPLE OF TERRITORY OF KURGAN REGION)

A. Cherepanov

Moscow State University, Moscow

One more reason of disappearance of the forests, besides usual ones (cutting down, fires, diseases, pests) appeared last decade. It is the degradation of forests because of the over moistening and over salting of soils, which is connected with the disturbing of the hydrologi-

cal balance by the construction of roads and railways. In work the technique of the automated allocation of the degraded forests (on 4 stages) on the basis of their spectral characteristics is offered.

ОЦЕНКА ТАКСАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Т. Н. Чимитдоржиев, В. Е. Архинчеев, А. В. Дмитриев.

Бурятский научный центр СО РАН, г. Улан-Удэ

В последнее время для решения многих задач дистанционного зондирования все чаще стали использоваться радиолокационные данные. Одно из существенных преимуществ радиолокации связано с высокой проникающей способностью радиосигнала в исследуемую среду, что позволяет исследовать пространственную структуру неоднородных лесных сред. Сложность исследований состоит в том, что в подавляющем большинстве случаев геометрическое расположение деревьев, ветвей, подлеска имеет случайно неоднородный характер. Однако, как показывают исследования, в сантиметровых и дециметровых масштабах в среднем лесной массив заполняет пространство случайным и самоподобным образом, а само рассеяние носит объемный характер, поэтому можно говорить в целом о проблеме рассеяния электромагнитных волн фракталами.

Для исследования были использованы исходные данные поляриметрического радара с синтезированной апертурой (РСА) SIR-C, выполнявшего съемку в октябре 1994 г. Изображения побережья озера Байкал были получены одновременно в двух частотных диапазонах (L- и C-диапазоны с длинами волн 23 и 5,6 см соответственно). Угол падения в ближней зоне составлял 21,747°, в дальней зоне – 25,869°, в центре сцены составлял 23,923°. Режимом работы РСА была предусмотрена однопроходная съемка Земли для всех 4 комбинаций поляризации радиоволны на излучении/приеме. Введем следующие общепринятые обозначения: LHH – изображение, полученное в L-диапазоне на горизонтальной согласованной поляризации; CHV – изображение, полученное в C-диапазоне на кросс поляризации т.д.

Данные дистанционного зондирования также были дополнены наземными данными, такими как картографические материалы различных масштабов. Кроме того, для классификации лесных массивов использовались и материалы лесоустройства в векторном формате с детальным описанием таксационных характеристик каждого выдела.

На первом этапе исследований строится фрактальное изображение исследуемых участков земной поверхности.

Опишем кратко алгоритм вычисления фрактальной размерности:

1. Для всех пикселей определяются минимальное и максимальное расстояния между пикселями ($R_{\min}$, $R_{\max}$).
2. Для всех возможных пар пикселей вычисляются расстояния между ними, и определяется интервал, к которому они принадлежат.
3. Для каждого интервала, используя сумму и квадрат суммы разностей между яркостями пикселей, вычисляется дисперсия.
4. Строится зависимость логарифма дисперсий каждого кластера от логарифма верхней границы интервала. Вычисляется линейная регрессия между двумя этими переменными и величина наклона данной линии регрессии затем используется для расчета фрактальной размерности.

Исходное изображение представлено 3-мерной матрицей $F[x, y, z]$, где x – столбец, y – строка, z – яркость пикселя. Матрица F имеет следующие размерности: $x = 6006$, $y = 1404$, $z = 0 \div 255$. Методом «скользящего окна», начиная с верхнего левого угла исходной матрицы, строится матрица фрактальных размерностей $F'[x', y', z']$, где x', y' – номера столбцов и строк нового изображения соответственно, z' – фрактальная размерность. «Передвигаясь» на 1 пиксель вправо по текущей строке выделяется «окно скольжения» размерами 25×25 пикселей и определяется фрактальная размерность данного фрагмента изображения. Перебрав все пиксели в строке, скользящее окно передвигается на одну строку вниз, и весь процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут правый нижний угол исходной матрицы F. Приведенные выше размеры «окон скольжения» были выбраны эмпирически путем сопоставления с наземными данными.

Для всех поляриметрических комбинаций земные покровы визуально четко разделяются на два класса. Для первого класса размерность близка к 2, для второго фрактальная размерность ближе к 3. Поскольку фрактальные размерности кривых линий лежат в диапазоне 1÷2, размерности неровных поверхностей – в диапазоне 2÷3, то можно предположить:

- участки с невысокой, близкой к 2, размерностью принадлежат к классу относительно однородных ровных (по сравнению с длиной волны) поверхностей, каковыми являются сельскохозяйственные поля, луга и т.п.;
- фрагменты полученного фрактального изображения с более близкой к 3 размерностью вероятно относятся к классу шероховатых поверхностей с объемными неоднородностями, превышающими длину волны, например крупные кустарники и лесные массивы.

В свою очередь, использование количественного подхода, основанного на классификации по значениям фрактальной размерности, позволяет также разделить данные классы по своим геометрическим параметрам еще на два типа (подкласса) каждый (таблица). Например, первый класс: участки с невысокой размерностью разделяются на гладкие (по сравнению с длиной волны) однородные и неровные фрагменты с мелким кустарником, крупной густой луговой растительностью. Соответственно у гладких однородных участков размерность порядка 2, у более шероховатых – 2,21÷2,26. При этом среднеквадратичные отклонения для значений полученных фрактальных размерностей для L-диапазона около 0,022, для C-диапазона – 0,047.

Таблица

Фрактальные размерности земных покровов

Вид земного покрова	Вид поляризации					
	LHH	LHV	LVV	CHH	CHV	CVV
Ровные однородные участки	2,022	2,032	2,036	2,031	2,078	2,087
Шероховатые участки с мелким кустарником	2,212	2,256	2,241	2,302	2,625	2,634
Леса с полнотой более 0.8 устой крупный кустарник	2,763	2,753	2,747	2,779	2,785	2,787
Леса с полнотой менее 0.8 с подлеском	2,919	2,899	2,889	2,930	2,909	2,915

Второй класс, представленный лесными сообществами, подразделяется по таксационным параметрам на две группы: с полнотой менее и свыше 0.8. Значение полноты древостоя 0.8 выбрано в качестве порогового, поскольку большая часть лесов рассматриваемого региона имеет полноту менее 0.8, и практический интерес представляют

леса с высокими значениями полноты. Фрактальный подход позволяет также описать и эти две группы. Лесные сообщества со значениями полноты свыше 0.8 имеют размерность 2,74÷2,76, леса с полнотой менее 0.8 обладают фрактальной размерностью более близкой к 3. В данном случае лес с высокой плотностью древостоя характеризуется более низкой размерностью, поскольку он более однороден и создает практически сплошной покров, в отличие от леса с полнотой менее 0.8.

Для С-диапазона на указанных выше поляризациях можно выделить три больших класса земных покровов (таблица):

1) с близкой к 2 фрактальной размерностью, что соответствует однородным ровным участкам;

2) с размерностями около 2,63, которые относятся к неоднородным шероховатым участкам;

3) с размерностями 2,78÷2,91, которые можно классифицировать как объемные неоднородности.

Первый класс идентифицируется как ровные однородные луга. Последний класс объемных неоднородностей представляет собой лесные сообщества и разделяется на два типа по полноте древостоя. Леса с полнотой более 0.8 имеют фрактальную размерность ниже, чем лесные массивы с полнотой менее 0.8. Так же как и для L-диапазона можно полагать, что более плотный лес образует более однородный и возможно практически сплошной покров в противоположность лесным сообществам с полнотой древостоя менее 0.8.

Отметим также еще одну возможность анализа поляриметрических изображений на основе фрактального подхода: по величине фрактальной размерности природных сообществ на различных поляризациях можно судить о характерном соотношении вертикальных и горизонтальных размеров природных структур. Например, шероховатый неоднородный безлесный участок в С-диапазоне на НН поляризации имеет размерность 2,30, близкую к фрактальной размерности ровных однородных участков, а на HV и VV поляризациях размерность составляет 2,62-2,64, что ближе к объемным неоднородностям. Таким образом, можно сделать вывод, что неоднородности, на которых происходит обратное рассеяние, имеют в большей степени вертикальную структуру, а горизонтальные размеры этих неоднородностей существенно меньше вертикальных размеров, т.е. это фрагмент с кустарником и крупной луговой растительностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 05-02-97201).

FOREST PARAMETERS ESTIMATION BY FRACTAL ANALYSIS OF RADAR IMAGES

Tumen N. Chymitdorzhiev, Valery E. Arkhincheev, Aleksey V. Dmitriev

Physics Problems Department of Buryat Science Center, SB RAS, Ulan-Ude, Russia

The Baikal lake region is studied by the remote sensing methods, using fractal approach. It is shown that the using of fractal dimensionalities give possibility to describe the natural communities by exact quantitative way and make the classification of earth covers. There are classified three big classes with different values of fractal dimensionalities: Smooth homogeneous areas, Rough fragments with a small bushes and Forests.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕТВЕЙ ДЕРЕВЬЕВ

Т. Н. Чимитдоржиев, В. Е. Архинчеев, А. В. Дмитриев

ОФП Бурятский научный центр СО РАН, г. Улан-Удэ

В последние годы отмечается интенсивное развитие аэрокосмических технологий, основанных на применении радиотехнических систем в микроволновом диапазоне радиоволн для исследования различных типов земной поверхности, в частности для оценки био и геофизических параметров бореальных лесов планеты. В работе [1] приведен обзор теоретических моделей, который показал, что для количественной оценки обратного радарного рассеяния от лесного покрова необходимо учитывать множество различных параметров, таких как: высота и диаметр деревьев, плотность их насаждения, распределение листьев и веток по размерам и угловой ориентации, диэлектрическая проницаемость стволов деревьев, шероховатость и диэлектрическая проницаемость почвы. При всей своей сложности, такой подход недостаточно полно описывает сложные явления, сопровождающие процессы рассеяния и переотражения волн в неоднородных средах, т.к. эти модели основаны на учете усредненного значения интенсивности обратного радиолокационного рассеяния на различных поляризациях. Необходимо так же учитывать степень неоднородности объектов исследования, посредством оценки пространственных флуктуаций сигнала, что может быть выполнено при помощи статистического анализа, основанного на расчете автокорреляционных связей или топологических фрактальных размерностей [2].

В данной работе рассматривается возможность определения лесотаксационных характеристик при помощи количественной оценки пространственных флуктуаций обратного радарного рассеяния. В качестве инструмента исследования флуктуаций применяется метод вариограмм, основанный на расчете значений фрактальной размерности неоднородных природных сред. Дается физическая интерпретация полученных результатов.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.

Для исследования были использованы данные поляриметрического радара с синтезированной апертурой SIR-C, выполнявшего съемку 9 и 10 октября 1994 г. на восходящих витках. Изображения побережья озера Байкал были получены одновременно в L- и C-диапазонах (длина волны 23,5 и 5,8 см соответственно). Съемка в обоих случаях осуществлялась в юго-восточном направлении. На основе поляриметрических радиолокационных изображений SIR-C (HH, HV, VV) были синтезированы промежуточные поляризации на приеме. При неизменной горизонтальной поляризации на излучении угол наклона линейной поляризации на приеме составил 0 (HH), 20, 40, 60, 80, 90 (HV), 100, 120, 140, 160 градусов. Для вертикальной поляризации на излучении (угол наклона 90^0) аналогично предыдущему были синтезированы изображения с теми же углами наклона поляризации на приеме.

Данные дистанционного зондирования также были дополнены картографическими материалами различных масштабов. Кроме того, для классификации лесных массивов использовались материалы лесоустройства с детальным описанием таксационных характеристик каждого выдела.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

По радиолокационным поляриметрическим изображениям, представленным в градациях серого 0÷255, на первом этапе строится поле локальных фрактальных раз-

мерностей (далее фрактальное изображение). Для создания фрактальных изображений был использован метод вариограмм, основанный на статистическом гауссовом моделировании изображений. Предполагается, что изображение может быть аппроксимировано случайным стохастическим процессом - фрактальным броуновским движением, когда среднеквадратичное смещение (дисперсия) диффундирующей частицы зависит от времени не как обычно линейным образом, а аномальным степенным образом [3]: $<(X(t)-X(0))^2> \propto t^{2H}$, здесь H - критический индекс аномальной диффузии.

Таким образом, ставится задача определить критический индекс, он и будет характеристикой фрактальной поверхности. В соответствии с этим методом статистическое соотношение, которое существует для расстояния между двумя пикселями и дисперсией их значений (яркостей), может быть представлено в логарифмическом виде следующим соотношением [4]: $\log\left([g(x+\varepsilon)-g(x)]^2\right)=2H\log\varepsilon+\log C$, где g – значение яркости пикселя в точке x, ε - расстояние между точками, H – критический индекс фрактального броуновского движения, описывающий шероховатость поверхности, С – постоянный коэффициент. Он несуществен для дальнейших вычислений, поскольку фрактальная размерность (критический индекс) вычисляется по тангенсу угла наклона. Тогда фрактальная размерность может быть вычислена следующим образом: $D = 3 - H = 3 - B/2$, где B – тангенс угла наклона линии регрессии дисперсии g в зависимости от расстояния ε.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

В докладе представлены результаты расчета фрактальной размерности, которые количественно характеризуют пространственные флуктуации обратного рассеяния. Значения фрактальной размерности определялись для обоих витков по 30 участкам лесного массива со сходными характеристиками в окне размером 20x20 пикселов. Отмечается, что значения фрактальной размерности для леса со значениями полноты древостоя выше 0,7÷0,8 существенно зависят от длины волны. Аналогичный результат получен в работе [1], где отмечается, что с увеличением длины волны возрастают вариации отраженного сигнала.

Установлено, что вариации обратного рассеяния в С- диапазоне, вызваны сложными процессами рассеяния и переотражения электромагнитной волны от ветвей, сучьев и стволов деревьев, соизмеримых с длиной волны 5.6 см. Характер изменения фрактальной размерности для сантиметрового диапазона хорошо коррелирует с угловым распределением ветвей деревьев для лесов с полнотой свыше 0,7÷0,8. В случае лесов с полнотой древостоя ниже этого значения корреляция не значительна.

В случае дециметрового диапазона волн (L-диапазон) существенная корреляция поляриметрических пространственных флуктуаций наблюдается только для вертикально поляризованной волны на излучении при углах наклона поляризации на приеме $20^0 \div 150^0$ от горизонтали. Данный эффект наблюдается для лесных массивов с полнотой древостоя выше порогового значения (0,7÷0,8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты обработки радиолокационных изображений показали, что поляриметрические особенности флуктуаций обратного рассеяния хорошо характеризуют геометрию исследуемых лесных массивов и имеют принципиальное значение для интерпретации данных микроволнового зондирования. Развитием данного подхода может быть создание поляризационных сигнатур флуктуаций для всех возможных углов эллиптичности и наклона эллипса поляризации.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 05-02-97201.

Литература

1. Иванов В.К., Кучук Г.А., Стадник А.М., Яцевич С.Е. Методы многочастотного радиолокационного

зондирования лесов // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – М.: Радиотехника. – 2005. – № 7. – С. 57-72.
2. Myint S.W. Fractal approaches in texture analysis and classification of remotely sensed data: comparisons with spatial autocorrelation techniques and simple descriptive statistics. – International Journal of remote sensing, 2003, vol. 24, no. 9, pp. 1925-1947.
3. Архинчеев В.Е. Случайные блуждания на иерархических фрактальных (гребешковых) структурах // ЖЭТФ. – 1999. – Т. 115. – N. 4. – С. 1285-1294.
4. Mark D.M., Aronson P.B. Scale-Dependent fractal dimensions of topographic surfaces: An empirical investigation with applications in geomorphology and computer mapping // Mathematical Geology. – 1984. – Vol. 16. – N 7. – P. 671-683.
5. Van Zyl, J.J., H.A. Zebker, and C. Elachi: Imaging radar polarization signatures: theory and observation. Radio Science 22(4):pp. 529-543, 1987.
6. В.П. Якубов, Е.Д. Тельпуховский, В.Л. Миронов и др. Векторное радиопросвечивание лесного полога. Журнал радиоэлектроники. 2002, №1. http://jre.cplire.ru/jre/jan02/1/text.html

ANGULAR DISTRIBUTION ESTIMATION OF TREES BRANCHES BY SPATIAL FLUCTUATIONS OF POLARIMETRIC RADAR IMAGES

Tumen N. Chymitdorzhiev, Valery E. Arkhincheev, Aleksey V. Dmitriev

Physics Problems Department of Buryat Science Center, SB RAS, Ulan-Ude, Russia

It is considered an estimation of the pine forest structure by spatial fluctuations of radar backscattering with different angles of the polarization inclination. As the tool of full polarimetric images processing is used the method of variogramm, based on the multifractal dimension computation of forests with different biomass. It is shown that a this approach makes it possible to estimate the slope angles of the trees branches and to qualitatively determine the branches distribution in the horizontal plane. The designing possibility of the polarization signature for the spatial fluctuations of radar backscattering is proves.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗИМНИХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В ИНТЕРЕСАХ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

А. В. Шаталов, В. М. Жирин

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

При изучении лесов аэрокосмическую съемку выполняют в определенные сроки, связанные с фенологическим и санитарно-лесопатологическим состоянием лесного покрова. Обычно для целей лесоинвентаризации съемку проводят после полного распускания листьев и до начала массового листопада (в зависимости от распространения лесообразующих пород, лесорастительного района и почвенных условий), а для оценки санитарного состояния насаждений – в июле-августе, т.е. после появления в лесном пологе деревьев свежего сухостоя текущего года.

Известно, что по данным динамики значений NDVI можно судить о ходе весны, лета или осени в различных лесных экосистемах и объективно регистрировать наиболее существенные и характерные фенологические явления [1, 2]. При этом зимний аспект съемки углубленно не изучался и снимки лесов на землях лесного фонда и иных категорий с изображением снежного покрова в интересах лесного хозяйства практически не используются.

Исследования изобразительных свойств зимних космических снимков высокого разрешения (типа QuickBird) показали возможность их технологического использова-

ния при изучении особенностей лесовосстановления на сплошнолесосечных вырубках и при оценке накопления в процессе смены пород хвойных деревьев под пологом лиственных древостоев в местах промышленных лесозаготовок 30-50-летней давности в Костромской области, а также для иных целей.

При зимней съемке высота стояния Солнца меньше чем летом, из-за чего падающие тени от растущих деревьев имеют значительно большую длину а за счет увеличения доли рассеянного излучения в составе общей освещенности земной поверхности эти тени более прозрачны (рис 1).

Рис 1. Фрагмент зимнего снимка сверхвысокого разрешения QuickBird

Зимнее и летнее изображения древесного полога на космических снимках высокого разрешения значительно отличаются. Все листопадные деревья и кустарники находятся зимой в безлистном состоянии. Снежный покров маскирует также изображение напочвенного покрова (из мхов, трав, кустарничков), скрывает степень минерализации почвы. На его фоне наиболее различимы вечнозеленые хвойные деревья (сосна, ель, пихта), в том числе подрост хвойных пород.

Изображение насаждений и крон хвойных пород имеют темный тон и пятнистую структуру (рис. 2).

Рис.2. Изображение спелого хвойного насаждения на зимнем космическом снимке высокого разрешения QuickBird

Размеры изображений крон зависят от возраста хвойных деревьев. В молодых насаждениях до 30-40 лет изображения крон мелкие, иногда точечные, с возрастом они становятся крупнее. Густота размещения крон на изображении связана с сомкнутостью полога древостоев.

Хвойные молодняки в данном районе представлены незначительно. Это связано с тем, что естественное лесовосстановление после рубки насаждений в производительных типах леса происходит со сменой пород, т.е. на месте вырубленных хвойных лесов вначале формируются лиственные древостои. На зимних снимках лиственные молодняки имеют штриховатый или полосчатый рисунок изображения за счет неплотного затенения снежного покрова (рис. 3).

Рис. 3. Изображение лиственных молодняков на зимнем космическом снимке высокого разрешения

При анализе зимних снимков под лиственным пологом отмечается наличие хвойных деревьев, оставшихся на корню во время лесозаготовок, а также подрост хвойных пород. Они образуют группы, куртины деревьев или подроста, а также встречаются в виде отдельных экземпляров (рис. 4, 5).

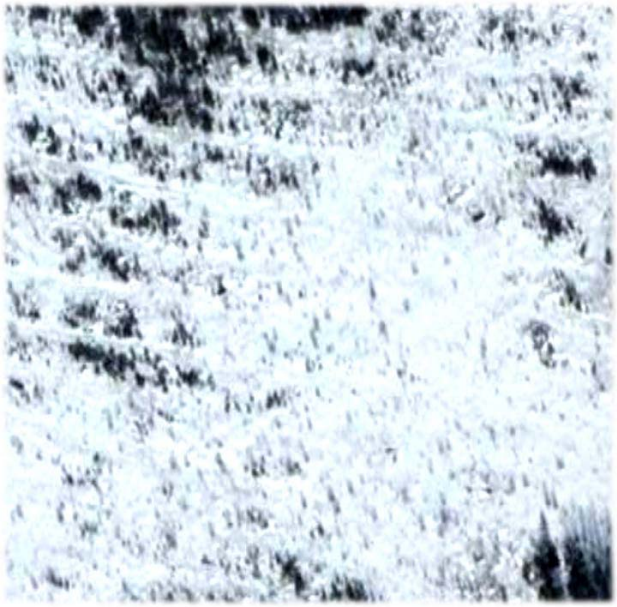


Рис.4. Изображение подроста хвойных пород на вырубке 3-6 летней давности

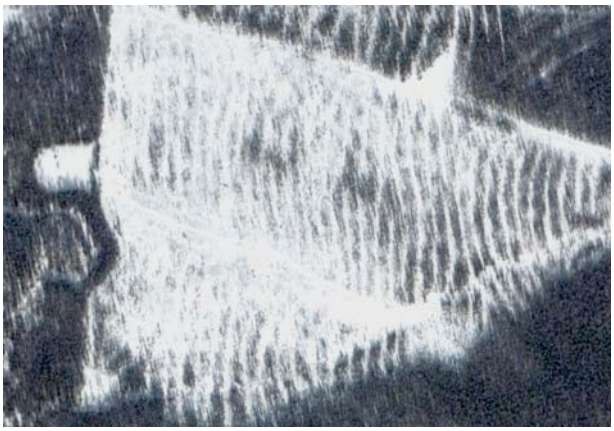


Рис.5. Изображение куртин оставленных после рубки хвойных деревьев на зимнем космическом снимке высокого разрешения

Лесные культуры хвойных пород последних десятилетий, как правило, не бывают успешными из-за интенсивного роста лиственных пород и трудностей с проведением систематического ухода за посадками. Тем не менее, зимние космические снимки высокого разрешения позволяют обнаружить остатки рядовых посадок хвойных пород, которые на летних снимках, используемых при лесоустройстве, маскируются пологом лиственных пород (рис.6).

Исходя из результатов анализа дешифровочных свойств изображений, можно отметить возможность проведения измерительных процедур по зимним космическим снимкам высокого разрешения [3].

Подсчет количества экземпляров возобновления возможен только в ограниченных условиях – на свежих вырубках, при не очень густом расположении крупного и среднего подроста. Перечет может быть как сплошным, так и выборочным по регулярным или случайно расположенным площадкам, полосам, линиям.

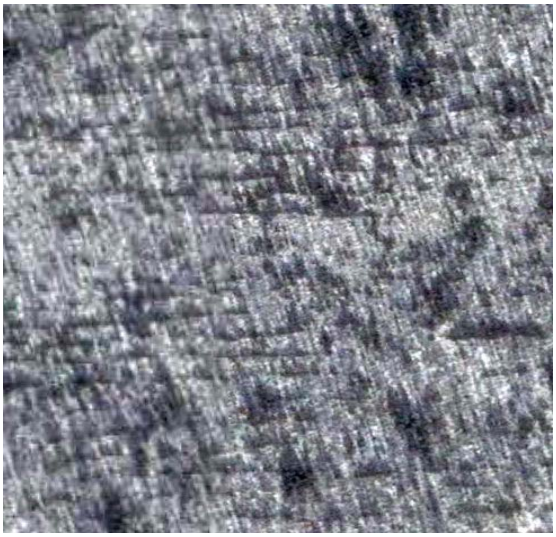


Рис. 6. Изображение на зимнем космическом снимке борозд хвойных лесных культур под пологом естественного лиственного возобновления

Альтернативой показателю количества является встречаемость хвойного подроста на вырубках. Этот метод основан на положении, что площадь питания одного дерева в стадии жердняка составляет около 4 м^2. Исходя из этого, для расчета встречаемости анализируемая площадь вырубки разбивается сеткой на клетки размером 2х2 м, внутри которых оценивается наличие хотя бы одного экземпляра подроста. Процентное

содержание клеток с наличием подроста к общему количеству клеток определяется как встречаемость хвойного подроста.

Также возможно использование для определения доли площади вырубки (мест рубок) занятой хвойными насаждениями автоматизированных методов. Наиболее легко реализуемым из них является метод пороговой классификации позволяющий делить изображение на два класса. Поскольку хвойные породы отображаются на изображении темным цветом, то можно отделить их от остальных объектов по яркостному порогу. В простейшем виде порог подбирается интерактивно по изображению дешифровщиком с поэтапной оценкой результатов и коррекцией величины порога.

Литература

1. Жирин В.М., Ястребова Н.В. Анализ значений вегетационного индекса и данных инвентаризации лесов северной Якутии. Журн. "Лесоведение" № 1, 1997. с. 35-44.
2. Харин Н.Г., Жирин В.М., Татеиши Р. Возможности использования вегетационного индекса (NDVI) для изучения фенологии и состава лесов Сибири. Журн. " Исслед. земли из космоса", № 1, 2001. С. 73-79.
3. Данюлис Е.П., Жирин В.М., Сухих В.И., Эльман Р.И. Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве. − М.: Агропромиздат. 1989. 223 с.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF THE WINTER SPACE HIGHRESOLUTION IMAGES IN THE INTERESTS OF FORESTRY

V. Zhirin, A. Shatalov

Centre of forest ecology and productivity problems RAS, Moscow

The results of investigating the winter space high resolution photographs are given. It is shown the possibility of their use during the study of special features of reforestration after the clear cuttings and for evaluating the accumulation in the process of changing the coniferous species under the cover of deciduous stands in the places of industrial timber cuttings, and also for other purposes.

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ QUICKBIRD

А.В. Шаталов[1], В.М. Жирин[1], В.И. Сухих[1], С.П. Эйдлина[1], В.С. Галкин[2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов, РАН, г. Москва
[2]Московский государственный университет леса, г. Мытищи Московской обл.

На примере лесов национального парка "Водлозерский", расположенного в Пудожском районе Карелии, была проведена оценка информативных возможностей космических снимков QuickBird. Исследования проводились по изображениям QuickBird (время съемки 26 августа 2005 г.), полученным в результате синтеза трех наиболее информативных для решения лесных задач спектральных каналах – ближнем инфракрасном, красном и зеленом, а также в результате операции синергизма указанных каналов с панхроматическим. В работе была использована сформированная при последнем лесоустройстве на территорию НП "Водлозеро" геоинформационная система (ГИС).

Особенностью объекта исследований является практически полное отсутствие хозяйственной деятельности, а также преобладание старовозрастных еловых насаждений. В 2001 году насаждения подверглись повреждению ветровалом а в последующие годы - короедом типографом. Повреждения представлены относительно небольшими

по площади, но многочисленными по количеству участками, мозаично размещенными по территории парка.

На изображении QuickBird, полученном в результате синтеза трех наиболее информативных для леса спектральных каналов, отчетливо дешифрируются отдельные кроны деревьев. Во многих случаях имеется возможность определять их породу и состояние. Кроны ели имеют фиолетовый и темно-фиолетовый цвет, сосны – светло-фиолетовый, осины, как правило, яркий розово-оранжевый, кроны берез по сравнению с осиновыми имеют несколько более темный оттенок. Визуальная различимость деревьев осины и березы невысокая, однако, в группах деревья этих пород различаются достаточно хорошо. Это связано с их биологическими особенностями, выражающимися в образовании верхнего полога различной плотности и формы. У осины он достаточно плотный, сомкнутый, почти плоский, у березы – более рыхлый и зубчатый. На изображениях это отображается в виде структурных различий и отличаются от осинников также более сглаженной структурой. и неплохо дешифрируется в интерактивном режиме. У ели и сосны различия еще более заметны – кроны сосны более светлые и за счет несколько иной формы выглядят крупнее. Однако на данной территории чистые или относительно чистые сосняки не представлены и все хвойные насаждения, как правило, включают обе эти породы в различном смешении.

Кроны сухостойных деревьев ели, погибших в результате повреждения короедом типографом, отчетливо дешифрируются по цвету. Они имеют ярко-зеленый, голубоватый цвет и располагаются, как правило, группами вследствие особенностей распространения короеда. Яркость и контрастность изображения сухостойных деревьев обусловлена наличием на них остатков старой необлетевшей желтой хвои и светлых, потерявших хвою и кору, мелких веточек.

Анализ изображений участков ветровалов показал, что они имеют довольно мозаичное изображение. Это связано с тем, что в формировании изображения ветровала, даже сплошного, участвуют различные по спектральным свойствам объекты: это и валежные деревья, образующие завалы различной величины и структуры, мелкие участки заросших травой и кустарником прогалинок, минерализованные участки почвы, одиночные деревья, группы и куртины как хвойных, так и лиственных пород различных категорий состояния. Еловые деревья на площадях ветровала чаще всего представлены 4 и 5-й категориями состояния – свежим и старым сухостоем. Кроме того, следует учитывать, что оставшиеся на площади ветровала деревья, как живые, так и сухостойные, создают тени различной плотности, изменяющие спектральные свойства затененных участков. Перечисленные особенности приводят к тому, что изображение ветровала при автоматизированном дешифрировании распадается на ряд классов с различными спектральными свойствами. Сухостойные деревья и их куртины попадают в класс сухостоя, прогалины с травянистой и мшистой растительностью перепутываются с полянами и болотами, куртины оставшихся лиственных деревьев, а также хвойный и лиственный подрост и подлесок и т.д.. При этом если при визуальном дешифрировании дешифровщик может уверенно выделить и оконтурить некоторый участок как ветровал, то при автоматизированной классификации этот участок может быть распознан как ветровал лишь частично и представлен в виде мозаики различных классов. Наличие на ветровальниках и в примыкающих к ним массивах леса значительного количества отдельных деревьев и куртин ели 4 и 5-й категорий состояния связано с массовой вспышкой размножения короеда типографа, возникшей сразу после ветровала.

Автоматизированная классификация. Для классификации были использованы два различных подхода. Первый основан на использовании процедуры автоматической классификации с дальнейшей интерпретацией полученных кластеров. Второй подход

основан на использовании управляемой классификации - алгоритмов классификации изображения с предварительным обучением классификатора.

Методы автоматической или неконтролируемой классификации, часто называемые *кластерным анализом,* или *кластеризацией*, базируются на естественной группировке классифицируемых объектов изображения на основе анализа пространства признаков, полученного по всем объектам изображения, и не требуют предварительного обучения классификатора. Нами был использован алгоритм ISODATA, в котором в качестве критерия используется отношение внутрикластерной и межкластерной дисперсий. Число кластеров было задано равным 20-ти.

Последующим этапом после кластеризации является процесс идентификации кластеров, т.е. установления их принадлежности к определенным тематическим классам или группам классов. В нашем случае, целевыми тематическими кластерами были «ветровалы» и «сухостой». Анализ принадлежности полученных кластеров к тематическим лесным классам производился интерактивно опытными дешифровщиками на основе одновременного просмотра кластеризованного и исходного изображений. Оценивалось попадание сегментов кластеров на участки различных лесных классов. Кластеры относились к одному из двух указанных целевых классов или к классу «прочие» по простому большинству попаданий.

Анализ результатов кластеризации после объединения показал, что класс «ветровал» в подавляющем большинстве случаев установлен правильно. В данный класс отчасти попадают также облака, некоторые участки болот, водные поверхности, и другие сходные объекты, которые легко отделяются средствами ГИС на основании информации лесоустройства, содержащейся в базах данных. В отличие от этого класса, объединенный класс «сухостой» оказался более сложным и включил в себя, помимо сухостойных деревьев, также тени в разрывах в пологе древостоя, прогалинки, частично участки сосновых деревьев молодого возраста, а также мелкие, трудно идентифицируемые объекты, или их части, не являющиеся сухостойными деревьями или частями куртин сухостойных деревьев. В результате данный кластер по предварительной оценке больше чем на четверть состоит из объектов, не относящихся к сухостою.

Второй подход основан на использовании *управляемой классификации* - алгоритмов классификации изображения с обучением требующих наличия априорных знаний о количестве классов объектов, представленных на изображении и о местах расположения участков этих классов, используемых для формирования обучающей выборки. В нашем случае априорные знания включали данные последнего лесоустройства и цифровые фотографические снимки лесов объекта, полученные с вертолета при проведении полевых работ. Кроме того, специалистами-лесопатологами МГУЛ, проводившими полевые обследования на изучаемой территории, было указано на космических снимках расположение 26-ти участков сухостоя и 30-ти участков ветровала.

Для классификации использован метод максимального правдоподобия (классификация по Байесу), основанный на вычислении вероятности принадлежности пиксела классу в предположении нормального распределения значений признаков с учетом априорной вероятности встречаемости каждого класса, задаваемой весовыми факторами.

Особенностью большинства алгоритмов контролируемой классификации, в том числе и использованного алгоритма, является то, что формирование широких классов, т.е. классов, включающих разнообразные по яркостным и спектральным свойствам объектов, приводит к значительным перепутываниям при классификации. В связи с этим, при обучении классификатора все объекты не являющиеся ветровалом или сухостоем, не объединялись в один класс «прочие», а были разделены на несколько классов, близких по спектрально-тоновым признакам. В результате, были сформированы обучающие выборки по следующим классам: а)«лиственные» - участки березовых насаж-

дений и осинников; б) «хвойные» - еловые и сосновые насаждения; в) «болота» - участки открытых (без древесной растительности) болот; г) «сосна по болоту» - участки с низкобонитетными сосняками; д) «вода» - поверхность рек и озер; е) «тени» - тени от облаков и затененные мелкие прогалины; ж) «поле» - прогалины, заросшие кустарниками берега озер и рек, часть болот и др.; з)«ветровал»; и) «сухостой».

Выбор мест размещения участков обучения производился на основе визуального дешифрирования изображения с использованием данных последнего лесоустройства, полевых работ и вертолетных снимков. Всего было указано 50 участков. Для обучения по классу «сухостой», из-за наличия в куртинах сухостоя большого количества теней пришлось использовать очень мелкие участки, включающие плотные группы сухостоя. При формировании участков обучения по куртинам сухостоя с включением входящих в них теней результаты классификации оказывались неудовлетворительными для этого класса, поскольку в класс включались многие теневые сегменты изображения. Для получения удовлетворительного результата выделения этого класса пришлось делать несколько итераций с корректированием границ участков обучения и добавления новых. Оценки точности и перепутывания классов, проведенные по участкам обучения показали, что целевые классы выделены с точностью 73% для ветровалов и 77% для сухостоя. Учитывая, что часть перепутывания приходится на классы, легко отсекаемые на основе информации из ГИС, данный результат является неплохим.

Полученное в результате классификации на 9 классов изображение, как и при неконтролируемой классификации, было сегментировано на 3 класса – «ветровалы», «сухостой» и «прочие земли». Результат классификации, совмещенный с исходным изображением. При обработке результатов классификации была проведена их генерализация путем исключения одно-двухпиксельных сегментов, как не представляющих реальные объекты и чаще всего являющихся шумовыми эффектами.

Качественный анализ результатов выделения классов «ветровал» и «сухостой» показал, что класс «сухостой» выделяется достаточно надежно. При этом были обнаружены все 26 контрольных участков сухостоя, даже очень мелкие участки, включающие 1-3 дерева. Класс «ветровал» в силу своей мозаичности и сложности, выделялся частично, отдельными участками. Из 30-ти контрольных участков выделились 25, на оставшихся 5-ти в силу их небольшой величины и наличия подроста, подлеска или второго яруса надежные тоновые – цветовые признаки отсутствовали. В то же время визуально за счет сочетания с текстурными и структурными признаками эти ветровалы легко отделялись от окружающего незатронутого стихийным бедствием леса. В связи с этим выявление участков вывалов рационально производить в интерактивном режиме. При этом результаты предварительной классификации могут быть использованы как целеуказание.

Сравнительный анализ результатов классификации показал, что как при контролируемой классификации так и при неконтролируемой классификации, выявление класса «ветровал» производится приблизительно с одинаковой точностью и требует последующего корректирующего дешифрирования с использованием интерактивных методов. Класс «сухостой» при классификации изображения методом контролируемой классификации выделяется достаточно надежно. При корректном и тщательном выборе обучающих участков выявляются практически все участки сухостоя. При неконтролируемой классификации данный класс включает много участков других, отличных от сухостоя объектов и результат получается хуже, чем при контролируемой. Технологически оба метода по сложности приблизительно одинаковы, хотя необходимость тщательного формирования обучающих выборок при контролируемой классификации несколько усложняет работу, но при этом получаются более достоверные результаты.

Панхроматический канал QB, несмотря на высокое пространственное разрешение, не позволяет уверенно разделять деревья различных пород. Соединение панхроматического изображения с многоспектральным в одно **композитное изображение** позволил получить более информативную картину. В связи с высокой детальностью и мозаичностью получаемых таким образом изображений автоматизированное дешифрирование их затруднено. Для анализа композитных изображений использовались интерактивные методы.

Анализ полученного композитного изображения показал, что по нему различаются все кроны верхнего полога, имеющие диаметр не менее 2 м. Более мелкие кроны либо сливаются с рядом стоящими, либо дешифрируются не очень надежно. За счет высокого пространственного разрешения при дешифрировании кроме основных признаков – цвета и яркости, можно оценивать форму кроны и ее плотность. Деревья **ели** имеют на изображении коническую или слегка закругленно коническую форму. За счет более высокой плотности крон ели теневая часть деревьев темнее, чем у других пород. Исключение составляют тонкие кроны угнетенных или молодых елей, имеющие более разреженную крону, а также сухостойные и усыхающие деревья, имеющие дехромированную и сильно разреженную хвою. Кроны **сосны** имеет аналогичную коническую форму, но за счет менее густого охвоения выглядят значительно светлее. Теневая часть кроны значительно светлее чем у ели. Кроны **берез** имеют овальную, а чаще неправильно овальную форму. Они более светлые по сравнению с хвойными деревьями и на композитных изображениях имеют красноватый оттенок. Кроны **осин** имеют уплощенную верхнюю часть без выраженной вершинки. Они самые яркие в пологе и имеют, так же как березы, красноватый оттенок.

В процессе наземных полевых работ было проведено полевое дешифрирование на композитном изображении деревьев различных пород выходящих в верхний полог. По снимку на участке в районе одной из пробных площадей ИЛК РАН дешифрировались крупные и средние по размеру кроны деревьев. Всего было отдешифрировано 116 крон деревьев. Результаты дешифрирования и натурной проверки показали неплохие результаты. Из 44-х деревьев, распознанных при дешифрировании как ели лишь два дерева были определены неверно - они оказались соснами. Четыре кроны ели из 42-х при натурном осмотре оказались парами близко растущих елей. Кроны всех сосен были распознаны без ошибок. Из 16 крон отдешифрированных как березовые, две оказались молодыми осинами, а пять крон оказались слившимся попарно или группами по 3-4 шт более мелкими кронами берез. Кроны, распознанные как кроны осины, были разбросаны единично или группами по 2-3 шт по всему участку, поэтому отделялись хорошо и только две из них были перепутаны при дешифрировании с крупными перестойными березами.

Следует еще раз отметить, что данные результаты получены для крупных крон с диаметром от 2 м. Более компактные кроны могут быть выявлены, но при наличии более-менее контрастного фона. Например, видны некоторые отдельно стоящие деревья с диаметром кроны менее 2м.

Наиболее четко различаются кроны ели даже при плотном стоянии. Это связано с их конической формой с наличием ярко-выраженной вершинки. Кроны близко стоящих сосен, а также берез различаются несколько хуже. Осины за счет уплощенной верхней части крон при близком стоянии чаще сливаются в единый полог и практически не разделяются между собой. Однако в большинстве случаев примесь осины выражается в виде отдельных деревьев или групп деревьев осины на фоне общего полога хвойных. В этом случае кроны осины дешифрируются хорошо. Затруднения возникают лишь в выделах с преобладанием лиственных пород.

Участки **ветровалов**, как уже отмечалось, очень мозаичны, что сильно влияет на их дешифрируемость. Кроме того, ветровал произошел в 2001 году, а съемка произведена в 2005. За 4 года хвоя с упавших деревьев практически полностью осыпалась, а на открывшихся в результате ветровала участках более активно пошел в рост, имевшийся под пологом подрост и подлесок, также несколько маскирующий вывалы. Тем не менее, при дешифрировании композитного изображения практически все участки сплошных вывалов, имеющих площадь более 0.2 га, отделяются от граничащего с ними неповрежденного или мало поврежденного леса. От прогалин ветровальники отличаются более светлым зеленоватым тоном за счет лежащих стволов с остатками крон, наличия остаточной минерализации и меньшего количества затененных кронами участков. Несплошные ветровальники или участки частичного ветровала дешифрируются плохо, поскольку ветровальные деревья маскируются кронами оставшегося, хоть и разреженного лесного полога.

Очевидно, что использование съемки 1-2-хлетней давности позволило бы значительно легче дешифрировать ветровалы за счет наличия на упавших деревьях дехромированной хвои, дающей сильно отличающийся от окружающих лесных объектов спектральный отклик. Косвенным подтверждением этого являются результаты дешифрирования сухостойных деревьев ели, на которых к моменту съемки сохранилась значительная часть дехромированной хвои.

Сухостойные деревья представлены в подавляющем большинстве деревьями ели, погибшими в результате повреждения короедом- типографом в 2002-2004 годах. На снимках кроны сухостойных деревьев ели значительно светлее живых и имеют другой цветовой оттенок. Кроме того, как видно на композитном изображении, они не имеют резко выраженной теневой части, характерной для деревьев с живой плотной кроной. Это обусловлено сильной дехромацией хвои усохших деревьев, а также большей по сравнению с живыми деревьями прозрачностью крон. На сухостойных елях в различной степени сохранилась дехромированная хвоя. Ели с полностью осыпавшейся хвоей и мелкими веточками различаются плохо.

При полевом обследовании были оценены 18 объектов, идентифицированных при дешифрировании композитных изображений как сухостойные деревья. При этом 11 объектов действительно оказались отдельными сухостойными деревьями. Остальные 7 были представлены компактными группами от 3 до 6-ти сухостойных елей. Причиной плохой различимости сухостойных деревьев в группах является опять же дехромация хвои и разреженность их крон, в результате чего значительно уменьшен контраст теневой и световой частей крон и при близком расположении деревья сливаются.

Анализ отображения сухостойных деревьев и куртин сухостоя на многозональном и композитном изображениях QB показал, что, несмотря на более высокое пространственное разрешение композитных изображений, сухостойные деревья выделяются несколько хуже. Причиной этого является то, что при формировании композитного изображения цветность изображения уменьшается в результате чего хорошо видимые за счет резкого различия в цвете на многозональном снимке участки сухостоя на композитном выделяются значительно хуже. Более высокое разрешение позволяет в части случаев различать отдельные сухостойные деревья, однако, из-за того, что во многих случаях сухостойные деревья сливаются, их перечет становится невозможен. Поэтому при оценке степени повреждения и ущерба в результате усыхания деревьев вполне достаточно многозонального изображения.

Многоспектральные изображения QB могут быть использованы при проведении лесоустроительных работ как основной источник информации взамен аэрофотоснимков при наличии данных предыдущего лесоустройства. Снимки позволяют проводить контурное дешифрирование для последующего лесотаксационного обследования. Исполь-

зование канала, фиксирующего отраженное излучение в ближней ИК зоне спектра, позволяет хорошо различать насаждения различных пород, имеющих различные биометрические параметры. Высокая детальность снимков позволяет выявлять различные мелкие объекты и оценивать их. При наличии разновременных изображений возможно выявление разнообразных по происхождению и масштабу (до 0.1 га) изменений. Композитные изображения, имеющие еще большую детальность, позволяют выявлять отдельные деревья или куртины деревьев, подразделять их по породам, состоянию, а также оценивать основные параметры насаждений.

ANALYSIS OF THE INFORMATIVE OPPORTUNITIES OF THE QUICKBIRD HIGH RESOLUTION SPACE IMAGES

V. Zhirin[1], A. Shatalov[1], V. Sukhikh[1], S. Eydlina[1], Yu. Galkin[2]

[1]Centre of forest ecology and productivity problems RAS, Moscow
[2]Moscow State Forest University, Mytischi, Moscow region

The analysis of possibility of the QuickBird space images usage for interpretation of forests is carried out. The results of the automated and interactive methods evaluating for detecting wind damaged and dead trees on the base of multispectral and composite QuickBird images are given.

ПРОГРАММА ALINA. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

М. В. Щепин

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

В докладе представлен ряд программных методов обработки-анализа двумерных изображений, реализованных в оригинальном программном продукте - программе анализа аэрокосмических изображений ALINA. Представлена технология применения реализованных методов в задаче анализа состояния лесного фонда по результатам обработки аэрокосмических изображений. Приведены примеры программной обработки изображений и представлены результаты применения данной технологии при создании тематических карт лесного фонда.

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии автоматизированной обработки материалов аэрокосмических съемок позволяют вести разносторонний анализ состояния лесного фонда с использованием различных программных продуктов и методов обработки изображений. В докладе представлена технология решения подобных задач, основанная на методах программной обработки аэрокосмических изображений, реализованных в оригинальном программном продукте, программе автоматизированного анализа изображений аэрокосмических фотопланов ALINA. Представленная технология может быть использована в широком спектре прикладных задач на любых иных программных продуктах, позволяющих производить аналогичные операции обработки изображений.

ПРОГРАММА ALINA

Программа автоматизированного анализа плановых изображений аэрокосмических снимков позволяет производить обработку и анализ аэрокосмических изображений различного разрешения, как фотографических, так и сканерных, зональных черно-белых и цветных синтезированных, решая широкий спектр, прикладных задач:

- Векторизацию объектов, полигональных и линейных (рис. 1);
- Классификацию и идентификацию (рис. 2);
- Распознавание образов;
- Импорт результатов векторизации в ГИС базы данных векторизованных объектов.

Геологические и сейсмические исследования, экологический и лесной мониторинг, векторизация объектов и создание тематических карт, вот далеко не полный перечень задач, которые можно успешно решать при помощи программы ALINA. Программа проста в эксплуатации и имеет несложный, интуитивно понятный интерфейс.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В программе реализован ряд эвристических методов обработки - анализа двумерных изображений (Метод пороговых интервалов RGB – векторизация полигональных объектов, Метод свернутых роз – векторизация линейных объектов и другие), позволяющих для каждой конкретной задачи выбирать определенный алгоритм обработки. Оптимальные входные параметры счета программы определяются в интерактивном режиме Обработки Выборки при пошаговой отработке заданного алгоритма на выбранном фрагменте изображения.

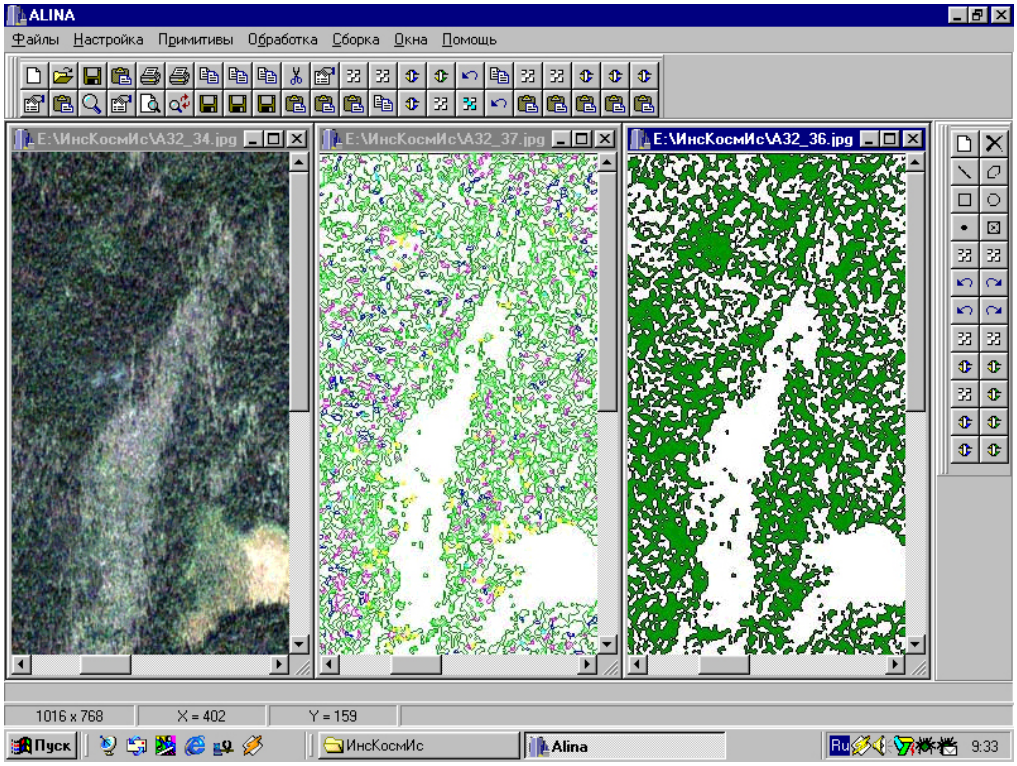


Рис. 1. ALINA для Windows 95 – XP. Результат векторизации территории лесного тестового участка

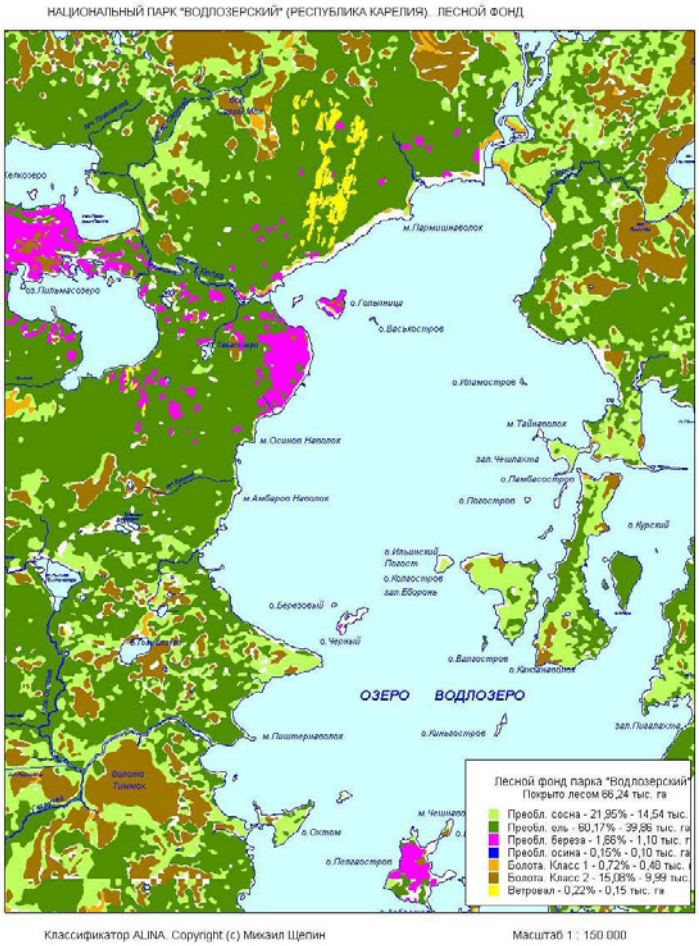


Рис. 2. Тематическая карта лесного фонда, созданная по результатам обработки изображений космической съемки IRS-ID (Liss-3) программой ALINA

ALINA PROGRAM. METHODS OF THE ANALYSIS OF A CONDITION OF WOOD FUND BY RESULTS OF PROCESSING THE SPACE IMAGES

M. Schepin

Centre of forest ecology and productivity problems, Russian Academy of Sciences, Moscow

In the article it is presented program methods of processing-analysis of the images realized in original software, ALINA program of the analysis of the space images is submitted. The technology of application of the realized methods in a task of the analysis of a condition of forest fund as a result of processing the space images is submitted. The examples of program processing of the images are given and the results of application of given technology are submitted at creation of thematic maps of forest fund.