

Н.Б. Ялдыгина (Компания «Совзонд»)

В 2005 г. окончила механико-математический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В настоящее время – ведущий специалист отдела программного обеспечения компании «Совзонд».

Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства

Многие задачи лесного хозяйства могут эффективно решаться на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): инвентаризация и мониторинг лесного фонда, мониторинг лесопользования, охрана, обнаружение незаконных рубок, мониторинг лесных пожаров, лесопатологический мониторинг и др. Для этого необходимы специализированные методики обработки данных ДЗЗ, а также надежное программное обеспечение, позволяющее реализовать данные методики. Специалисты компании «Совзонд» для этих целей применяют программный комплекс ENVI.

ENVI – это программное обеспечение для обработки и анализа данных ДЗЗ. ENVI включает в себя широкий набор функциональных возможностей: визуализация и ортотрансформирование, атмосферная коррекция, классификация, спектральный анализ и многое другое.

Ниже рассмотрено несколько конкретных задач, решаемых в сфере лесного хозяйства с использованием данных ДЗЗ и ПК ENVI, с кратким описанием подходов к решению задач, применяемых в компании «Совзонд».

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Вне зависимости от того, какие задачи лесопользования планируется решать на базе космических снимков, необходимым этапом обработки изображений становится фотограмметрическая обработка.

Исходные снимки, поставляемые операторами спутниковых систем, содержат несистематические искажения,

вызванные углом наклона съемочной системы, рельефом местности и другими факторами. Как следствие, линейные и площадные измерения, проводимые по таким снимкам, могут содержать весьма значительные ошибки.

Поэтому, прежде чем использовать снимок для определения площадей вырубок, уточнения квартальной сети и т. д., требуется проводить фотограмметрическую обработку. Процедурой, обеспечивающей необходимую точность изображений, является ортотрансформирование.

Ортотрансформирование с RPC-коэффициентами использует коэффициенты рационального полинома (RPC, Rational Polynomial Coefficients), которые обычно входят в поставку данных ДЗЗ и устанавливают соответствие между координатами точки на местности и ее изображением на снимке.

Строгое ортотрансформирование моделирует процесс съемки и позволяет восстановить пространственное положение совокупности лучей, сформировавших снимок.

Также при ортотрансформировании используется информация о рельефе местности, получаемая из открытых источников либо формируемая самостоятельно по иным доступным исходным данным (стереопарам космических снимков, оцифрованным горизонталям с топографических карт, наборам точек с высотами).

Результатом ортотрансформирования является новое изображение, скорректированное с учетом искажений, вызванных рельефом местности и положением съемочной аппаратуры.

Реализация в ENVI:

В ПК ENVI представлены оба метода ортотрансформирования — строгое и с RPC-коэффициентами. Данные методы позволяют устранить два основных типа искажений: вызванные наклоном съемочной системы и вызванные рельефом местности. Для повышения точности результатов можно также использовать опорные точки, полученные по результатам наземных наблюдений или взятые с других предварительно уточненных векторных данных и снимков.

ОБНОВЛЕНИЕ КВАРТАЛЬНОЙ СЕТИ

Квартальная сеть — система лесных кварталов, создаваемая в лесном фонде. Она служит основой для создания карт, используемых в лесном хозяйстве, поэтому важно иметь надежную цифровую квартальную сеть с известной картографической точностью.

Для уточнения пространственного положения квартальной сети можно использовать данные ДЗЗ. То, насколько хорошо читаются просеки по космическому снимку, зависит от нескольких факторов: пространственного разрешения снимка, доступных спектральных каналов, ширины просек.

Чем выше пространственное разрешение снимка, тем более узкие и заросшие просеки могут дешифрироваться по такому снимку (рис. 1).

Например, снимки сверхвысокого разрешения (0,5–1 м) позволяют уверенно дешифрировать практически все разрубленные просеки, визиры, ходовые линии.

В то же время снимки высокого разрешения (2–3 м) уже требуют, чтобы минимальный просвет на просеке состав-

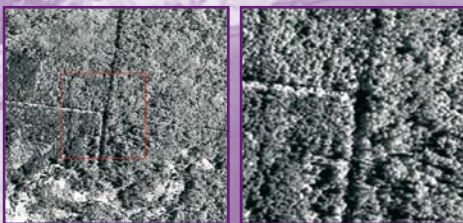


Рис. 1.
Снимок Ikonos, разрешение 1 м. Уверенно дешифрируются чистые просеки шириной 3–4 м, хуже — зарастающие просеки

лял не менее 1 м — тогда такая просека будет дешифрирована. Следует также учитывать, что по мультиспектральным снимкам просеки дешифрируются на порядок лучше, чем по панхроматическим.

Дешифрирование просек достаточно быстро осуществляется оператором вручную.

Реализация в ENVI:

Дешифрирование просек удобно осуществлять в ENVI Zoom — одном из интерфейсов программы ENVI. Здесь имеются инструменты для создания и редактирования векторных объектов (в том числе линейных) с возможностью сохранения в шейп-файлы.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ РУБОК

Важной задачей лесопользования является мониторинг рубок различных типов — сплошных и выборочных, под строительство и инфраструктуру.

Один из подходов к решению этой задачи заключается в сравнении снимков, отражающих первичное состояние лесного фонда и ситуацию на текущий момент, путем создания цветных разновременных композитов.

Технология включает в себя несколько последовательно выполняемых шагов.

Взаимное трансформирование снимков

На первом шаге снимки взаимно трансформируются — приводятся к единой системе координат. Точность геокодирования анализируемых снимков очень важна, т. к. даже небольшие погрешности в ориентировании снимков (более 1–2 пикселей изображения) могут привести к эффекту «сдвигов» на изображении и существенно ухудшить дешифровочные свойства синтезированного изображения.

Создание мультивременного композита

Далее из пары снимков формируется мультивременной композит. Для этого создается новый файл на область перекрытия двух снимков, включающий в себя спектральные каналы обоих снимков.

После создания композита его необходимо визуализировать, открыв на экране цветное (RGB) изображение. Такое изображение получается синтезом трех спектральных каналов. При выборе каналов для синтеза придерживаются следующего правила: каналы



Рис. 2.
Результат создания мультивременного композита:
розовым цветом отображена появившаяся вырубка

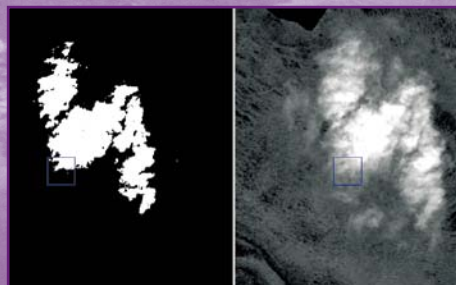


Рис. 3.
Маска облаков и фрагмент исходного снимка

позднего (нового) снимка занимают первую (Red) и третью (Blue) компоненты, канал раннего (старого) снимка занимает вторую (Green) компоненту.

Например, если новый снимок является мультиспектральным, а старый – панхроматическим, то в качестве красного используется красный канал более нового (мультиспектрального) снимка, зеленого – канал панхроматического, а синего – ближний инфракрасный либо красный канал нового снимка.

На изображении, синтезированном указанным образом, измененные участки отображаются яркими цветами (рис. 2). В розовый цвет окрашиваются пиксели, в которых произошло увеличение яркости. Такой цвет будут иметь вырубки, вскрытые грунты, появившиеся на новом снимке. В зеленый цвет окрашиваются пиксели, в которых произошло уменьшение яркости пикселей. Например, такой цвет будут иметь тени от облаков.

Создание маски облаков

Облачность, присутствующая на снимках, нередко затрудняет дешифрирование вырубок. Поэтому для упрощения работы можно предварительно создать маску облаков для исключения облачных участков из композита.

Выделить облака для построения маски можно путем выбора пикселей по пороговому значению, основываясь на том факте, что облака имеют высокие коэффициенты отражения во всех зонах видимого спектра (рис. 3).



Рис. 4.
Исходные снимки (ALOS/AVNIR, SPOT) и
разновременный композит с подстроенной
гистограммой

Подстройка гистограммы отображения

После визуализации композита для обеспечения лучшей читаемости изменений нередко требуется подстройка гистограммы отображения. Подстройка может быть выполнена вручную (настройка каждого канала в отдельности) либо с использованием стандартных преобразований, применяемых сразу ко всем каналам. Если априори известна хотя бы одна новая вырубка, то целесообразно найти ее на снимке и подстраивать гистограмму под нее (рис. 4).

Классификация и векторизация вырубок

Выделение вырубок может осуществляться как ручным, так и автоматизированным способом.

Первый вариант предполагает, что оператор вручную векторизует вырубки на разновременном композите и в итоге получает новый векторный слой вырубок. Это наиболее точный вариант; векторные объекты, созданные вручную по композиту снимков, не будут обладать недостатка-

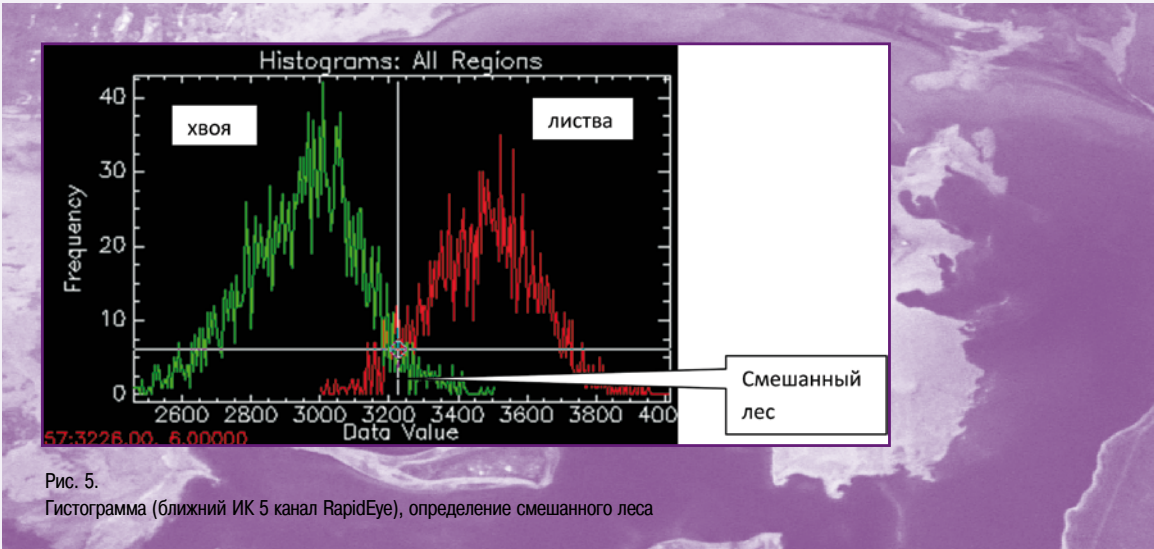


Рис. 5. Гистограмма (ближний ИК 5 канал RapidEye), определение смешанного леса

ми автоматически созданных программой — излишней дискретностью или, напротив, сглаженностью (в случае, если производилась процедура генерализации).

Второй вариант предполагает автоматическую классификацию изображения с последующей автоматической векторизацией. Чтобы данный метод корректно работал, необходимо, чтобы оба снимка были летними и сделанными в одинаковых погодных условиях; облачность и дымка должны быть минимальны (либо исключены из классификации с помощью маски).

Наиболее подходящими для автоматической классификации являются мультиспектральные снимки, имеющие в том числе не слишком высокое разрешение (например, RapidEye, ALOS/AVNIR). На таких снимках снижение полноты древостоя отмечается пропорциональным изменением яркостей пикселей, частично попадающих на вырубленные участки. За счет этого в яркостных характеристиках таких пикселей смешиваются яркости открытых почвогрунтов и кроны (в случае несплошной вырубки либо сплошной на начальном этапе), что дает своеобразный «полулесной» спектральный образ пикселей.

Возможно применение различных алгоритмов классификации, но для примера остановимся на следующих двух.

Способ параллелепипедов. Один из наиболее простых вариантов классификации по эталонам.

Предварительно оператор создает эталоны — выбирает группы пикселей, относящиеся к вырубкам. Далее в пространстве спектральных признаков создаются прямо-

угольники с центрами в точках среднего значения для эталонов. Размеры прямоугольников зависят от выбранных значений стандартного отклонения от среднего. Если пиксел по своим значениям попадает в один из выделенных прямоугольников, то он относится к классу «вырубка».

Дерево решений. Более сложный метод, эффективный даже для случаев анализа снимков с существенно различающимися сезонами съемки. Одним из преимуществ данного метода является независимость от эталонов. Оператор использует эталоны лишь на начальном этапе, при формировании правил решений — например, находит диапазон пересечения значений яркости пикселей с разных эталонов и использует этот диапазон в качестве правила для определения нового класса объектов (рис. 5). В дальнейшем разработанные правила могут использоваться при классификации других изображений, без необходимости набора эталонов с этих изображений.

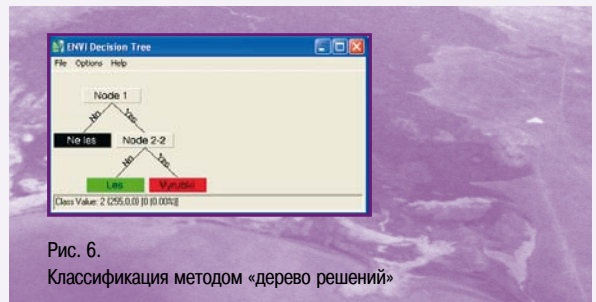


Рис. 6. Классификация методом «дерево решений»

Предварительно необходимо изучить спектральные характеристики вырубок и сформулировать условия, позволяющие отнести пиксели к классу вырубок. Каждое условие может быть сформулировано приблизительно следующим образом: «значение яркости пикселя во втором канале больше чем 22 и меньше чем 50», «значение яркости пикселя в первом канале больше чем 215 и меньше чем 254» и т. д. Проверкой первого условия все пиксели разбиваются на два класса; затем тот класс, для которого условие выполняется, разбивается еще на два класса проверкой следующего условия и т. д. Те пиксели, для которых будут выполнены все условия, относятся к классу вырубок (рис. 6).

Для получения результатов выделения вырубок в форме, пригодной для дальнейшего использования, необходимо выполнить векторизацию результатов классификации (обычно осуществляется автоматически). Может также потребоваться генерализация результатов, включающая в себя удаление единичных пикселей, объединение пикселей в группы и заливку «окон».

Реализация в ENVI:

Для формирования мультитременного композита используется функция Layer Stacking, позволяющая создать новый файл по пересечению снимков, задав желаемое пространственное разрешение выходного файла.

Маска облаков формируется с помощью инструментов Build Mask и ROI Tool; второй инструмент, в частности, позволяет задать пороговое значение и выделить все пиксели на изображении, значения яркости в которых превышают данное значение.

Визуализация композита осуществляется с использованием классического трехоконного интерфейса ENVI. Этот же интерфейс позволяет выполнить подстройку гистограммы отображения – вручную либо воспользовавшись одним из стандартных улучшающих преобразований (Linear 2% и др.).

Ручная векторизация вырубок может быть выполнена в интерфейсе ENVI Zoom с сохранением результата в шейп-файл.

Для классификации можно использовать один из более десятка алгоритмов, представленных в ENVI, включая способ параллелепипедов и дерево решений.

Анализ яркости пикселей эталонов выполняется инструментом получения статистики Stats, а также с помощью различных функций построения графиков и диаграмм.

ВЫЯВЛЕНИЕ ГАРЕЙ, ВЕТРОВАЛОВ, ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНЫЕ МАССИВЫ

Сходная технология – предполагающая создание мультитременных композитов – может использоваться и для выявления гарей, ветровалов, а также различных воздействий на лесные массивы, связанных с функционированием горнопромышленных предприятий. Как показывает опыт специалистов компании «Совзонд», данная задача полностью решается с применением в первую очередь оптических космических снимков среднего и высокого разрешения, а также радиолокационных данных в качестве дополнительного источника информации.

ВЫЯВЛЕНИЕ МЕДЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЛЕСАХ

Еще одной задачей, эффективно решаемой с помощью методов дистанционного зондирования, является выявление медленных изменений в лесах. Примером может служить вымокание лесов, которое особенно часто возникает в равнинных, слабо дренированных районах, с неглубоким залеганием грунтовых вод и достаточным увлажнением. В таких местах нередко прокладка автомобильных дорог, магистральных нефте- и газопроводов требует возведения высоких насыпей и в итоге приводит к нарушению гидрологического режима, к вымоканию и деградации лесных массивов.

На основе спутниковой съемки и с использованием так называемых спектральных индексов процессы вымокания лесов могут быть обнаружены даже на начальных стадиях. Спектральные индексы определяются как некоторая комбинация значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и позволяют оценить состояние объекта.

Радиометрическая и атмосферная коррекция

Поскольку используемая методика предполагает количественный анализ яркостных характеристик, то предварительно требуется проведение радиометрической и атмосферной коррекции.

Радиометрическая коррекция предназначена для восстановления физических величин яркости и осуществляется с учетом линейной зависимости между цифро-

выми значениями яркости пикселей снимка и яркостью соответствующих площадок земной поверхности.

Атмосферная коррекция позволяет, приняв во внимание состояние атмосферы, перевести значения спектральной яркости, зафиксированные съемочной аппаратурой, в коэффициенты отражения, которые могли быть зафиксированы у земной поверхности полевым спектрометром.

Индекс вымокания

Непосредственно выявление вымокания лесов осуществляется на основе вегетационного индекса, рассчитываемого по мультиспектральному изображению. Для выявления вымокания лесов был разработан специальный **индекс вымокания**, представляющий собой комбинацию из стандартного индекса NDVI и коэффициента отражения в зеленой зоне спектра. В зависимости от значения данного индекса определяются стадии вымокания леса на данной территории, начиная от первой (практически здоровый лес) до четвертой (полное исчезновение древесной растительности).

Более подробно с применяемыми технологиями можно ознакомиться в статье А.С. Черепанова «Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов)», опубликованной в журнале «Геоматика» (№ 3 за 2009 г.).

Реализация в ENVI:

Для атмосферной коррекции используется ACM – дополнительный модуль ENVI.

Для расчета индекса вымокания создается подпрограмма к ENVI на языке IDL. В ENVI есть определенный набор спектральных индексов, включая вегетационные индексы, однако индекс вымокания стандартным не является и в программу не включен.

ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ПРОЕКТОВ

Специалистами компании «Совзонд» накоплен весьма значительный опыт реализации проектов на основе данных ДЗЗ в целях лесопользования. Примеры нескольких проектов приведены ниже.

ФГУП «Рослесинфорг»

Целью данного проекта являлась разработка законченных, универсальных и воспроизводимых технологий автоматизированного выявления изменений в лесном фонде, а

также внедрение всего технологического комплекса на базе ФГУП «Рослесинфорг».

Проект выполнялся на примере 18 эталонных участков (лесничеств), распределенных по всей территории России. В ходе проекта были разработаны и апробированы технологии, позволяющие решать следующие задачи, находящиеся в сфере ответственности ФГУП «Рослесинфорг»:

- обновление квартальной сети;
- мониторинг сплошных и выборочных рубок, рубок под строительство и инфраструктуру, лесовозных дорог;
- выявление гарей, а также участков леса, пройденных пожарами за определенный промежуток времени;
- выявление ветровалов;
- мониторинг горнопромышленного воздействия на лесные массивы;
- выявление медленных изменений в лесах.

По результатам проекта были разработаны пошаговые инструкции для выполнения технологических процедур и проведено обучение специалистов ФГУП «Рослесинфорг».

ОАО «Монди СЛПК»

Компания ОАО «Монди СЛПК» является одним из крупнейших производителей целлюлозно-бумажной продукции в России. Целью проекта, выполняемого компанией «Совзонд» при участии специалистов филиала ФГУП «Рослесинфорг» «Центрлеспроект», являлось информационное обеспечение данными ДЗЗ и результатами их дешифрирования в целях получения информации о лесном фонде и планирования лесохозяйственной деятельности.

В рамках проекта была выполнена новая съемка территории Ношульского участкового лесничества космическим аппаратом WorldView-2. Полученные снимки прошли фотограмметрическую обработку и затем использовались для построения бесшовной мозаики. Для ортотрансформирования снимков применялась информация о рельефе в виде оцифрованных горизонталей с плана масштаба 1:25 000; наземные опорные точки не использовались.

Далее осуществлялось автоматизированное подразделение лесного фонда Ношульского участкового лесничества на однородные участки с последующей автоматизированной и визуальной генерализацией контуров, сглаживанием их границ. Для этого использовались алгоритмы объектно-ориентированной сегментации и спектральной классификации, реализованные в ПК ENVI.