
УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 89.57.25, 68.47.01

Ж. А. Шуляк, зав. сектором геоэкологии (УП «Космоаэрогеология»);
М. Ф. Шалькевич, инженер (УП «Космоаэрогеология»);
А. И. Свиридо, инженер (УП «Космоаэрогеология»);
В. Р. Понтус, зав. отделом дистанционных
исследований природных геосистем (УП «Космоаэрогеология»);
А. А. Козулин, мл. науч. сотрудник (УП «Космоаэрогеология»);
В. А. Сипач, зав. сектором мониторинга геосистем (УП «Космоаэрогеология»);
М. С. Кудряков, мл. науч. сотрудник (УП «Космоаэрогеология»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛОЩАДНОЙ И РЕСУРСНОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ ЛЕСНОГО ФОНДА НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ВЫБОРОЧНЫХ НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ

В статье изложены основные принципы и методология разработки системы оперативной площадной и ресурсной оценки состояния и динамики объектов лесного фонда, включая вырубки, гари, зоны подтопления и усыхания, в том числе в районах значительного радионуклидного загрязнения, на основе космической информации высокого разрешения и выборочных наземных данных. В результате выполненных исследований на территорию Минского и Могилевского производственных лесохозяйственных объединений были построены тематические карты, отражающие текущие изменения и динамику лесного фонда.

In article are stated basic principles and methodology of the system development operative coarse and resource of the estimation of the condition and dynamic's of the forestry objects (including cutting, cinders, swamps zones and damages), including in region significant radiological contamination, on base of cosmic information of the high resolution and selective band data. As a result of the executed researches on territory Minsk and Mogilyov industrial associations of forestry the thematic cards reflecting current changes and dynamics of wood fund have been constructed.

Введение. Лесной фонд Республики Беларусь является одним из ценнейших богатств. Современный уровень ведения лесохозяйственного производства требует детального изучения и учета динамики лесной растительности. Организация рационального использования и воспроизводства лесных ресурсов наиболее эффективна с использованием материалов дистанционного зондирования высокого разрешения.

В последнее время в республике на территориях лесного фонда возникают такие проблемы, как усыхание лесных насаждений различного породного состава, и, как следствие, происходит значительное увеличение объемов санитарных сплошнолесосечных рубок, кроме того, наблюдаются ветровалы, буреломы и пожары. Поэтому все большее внимание уделяется решению задач, направленных на сохранение биоразнообразия лесов, повышению их устойчивости и продуктивности.

С целью сохранения лесного фонда Республики Беларусь, в частности, для уменьшения последствий негативного воздействия природных и антропогенных факторов на лесные экосистемы, важное значение имеет разработка эффективных методов оценки лесного фонда и контроля динамики на основе космической информации высокого разрешения и выборочных наземных данных. Одним из наиболее эффективных методов учета текущих изменений и динамики лесного фонда является разработка системы площадной и ресурсной оценки лесного фонда. Данная система направлена на решение следующих задач:

- выявление и фиксирование изменений в лесном фонде, вызванных влиянием природных факторов (ветровалы и буреломы, усыхание лесных насаждений);
- определение и учет текущих изменений в лесном фонде, вызванных влиянием

факторов антропогенного характера (выруб-ки, гари и др.);

– оперативный контроль за проведением сплошнолесосечных рубок с определением их площадей, а также мониторинг состояния лесосек и хода их возобновления.

Основная часть. Объектами для разработки системы площадной и ресурсной оценки объектов лесного фонда на основе космической информации высокого разрешения и выборочных наземных данных являлись территории лесничеств Воложинского, Столбцовского, Старобинского и Молодечненского лесхозов Минского ПЛХО.

Для разработки системы использовались космические снимки, полученные многозональными сканирующими системами высокого разрешения: Landsat 7 ETM⁺, Terra (Aster), IRS 1C/1D, ALOS (AVNIR-2), RapidEye различной периодичности, лесоустроительные картосхемы, планшеты на цифровых или бумажных носителях и др.

Система площадной и ресурсной оценки объектов лесного фонда представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий в себя персональный компьютер и набор программного обеспечения для обработки космических изображений и последующей их интерпретации.

Подготовительный этап включал подбор и заказ разновременных космических снимков высокого разрешения, изучение фондовых и картографических источников территории исследования.

На следующем этапе проводилась предварительная и тематическая обработка космических снимков высокого разрешения с использованием специализированного программного обеспечения ENVI или Erdas Imagine.

Основными задачами предварительной и тематической компьютерной обработки являлись:

- геометрическая коррекция снимка,
- радиометрическая коррекция снимка;
- атмосферная коррекция снимка;
- яркостно-контрастная коррекция снимка;
- подбор наиболее информативной комбинации спектральных каналов.

Геометрическая коррекция использовалась для устранения геометрических искажений, существующих между изображениями или изображением и картой [1]. Проведение геометрической коррекции обуславливалось следующими причинами:

- приведение снимков различного масштаба к общей картографической проекции и пространственному разрешению, чтобы облегчить их совместный пространственный анализ;

– совместное наложение и использование изображения и векторных данных;

– проведение точных измерений расстояний и площадей [2].

Радиометрическое улучшение нужно для исправления искажений в значениях яркости пикселей изображения, вызванных сенсором и средней толщиной прохождения излучения (атмосферой) [1].

Технология тематической обработки космических снимков заключалась в проведении операций с изображениями в различных спектральных диапазонах, подготовке зональных и синтезированных изображений с максимальным разнообразием спектральных сочетаний дешифрируемых объектов лесного фонда. Данный вид обработки включал набор определенных характеристик изменяющихся объектов, затем следовала последовательная обработка космических снимков в целях получения количественных величин и показателей динамики лесного фонда. Далее по снимкам создавалось синтезированное изображение, по которому выделялись и определялись показатели динамики изменяющихся объектов.

Таким образом, для различных съемочных систем наиболее информативными являются следующие комбинации спектральных каналов:

- Landsat 7 ETM⁺, Landsat 5 TM – комбинации каналов 3-4-2, 7-4-2, 3-8-2; 2 канал (диапазон 0,525–0,605 мкм); 3 канал (диапазон 0,63–0,690 мкм); 4 канал (диапазон 0,75–0,90 мкм);
- 7 канал (диапазон 2,09–2,35 мкм); 8 канал (панхром) (диапазон 0,52–0,90);

- ALOS (AVNIR-2) – комбинация каналов 2-4-3; 2 канал (диапазон 0,52–0,60 – зеленый), 4 канал (ближний ИК 0,76–0,89), 3 канал (диапазон 0,61–0,69 – красный);

- IRS-1C/1D (LISS-3) – комбинация каналов 3-1-2; 3 канал (диапазон 0,77–0,86); 1 канал (диапазон 0,52–0,59); (диапазон 0,62–0,68);

- Terra (Aster) – комбинация каналов 2-3-1; 2 канал (диапазон 0,63–0,69); 3 канал (диапазон 0,78–0,86); 4 канал (диапазон 0,52–0,60);

- RapidEye – комбинация каналов 2-5-1; 2 канал (диапазон 0,52–0,59); 5 канал (диапазон 0,76–0,85); 1 канал (диапазон 0,44–0,51).

На следующем этапе проводилось создание цифровых и использование имеющихся карт.

При работе системы можно использовать лесоустроительные карты (масштаб 1 : 50 000), лесоустроительные планшеты на территорию изучаемых лесничеств (масштаб 1 : 10 000) и перевести их в цифровую форму для создания слоя тематической информации.

Создавались векторные карты, в том числе площадные и линейные объекты (населенные пункты, границы выделов, лесхозов, лесни-

честв, подписи кварталов и выделов и др.). Для создания векторных данных и графических изображений было выполнено преобразование векторных данных из формата DXF во внутренний формат ArcView – SHP. Увязка векторных данных с космическим снимком выполнялась с использованием блока ArcViewGIS «Trans_vector».

На следующем этапе проводилась увязка цифровых лесных карт с материалами космической съемки. Основными источниками растровых данных являлись отсканированные карты или планшеты. Система координат карты определялась с помощью проекции карты (метод отображения изогнутой поверхности земли на плоскости). С этой целью материалы цифровой лесной картографии конвертировались в необходимую географическую проекцию, соответствующую данным космической съемки. Отсканированные лесостроительные карты или планшеты координатно увязывались с космическим снимком с использованием ArcGIS (UTM 1984, зона 35, 36). Совмещение цифровых карт проводилось в ArcGIS с увязкой выделов и квартальной сети в пределах площади снимка и выделительной базы данных лесоустройства с ГИС.

Затем выполнялось компьютерное визуальное предварительное дешифрирование, при котором учитывались два подхода:

- визуальное дешифрирование экранного изображения;
- автоматизированная классификация.

В первом случае информация извлекалась путем визуального анализа экранного изображения. При дешифрировании снимков учитывались фотометрические, морфологические и ландшафтные признаки объектов: цвет изображения, форма, размер крон, структура полога древостоя, дешифровочные признаки не покрытых лесом лесных и нелесных категорий земель, закономерности чередования типов леса и типов условий местопроизрастаний [3]. Так, например, для распознавания видового состава растительности на синтезированных снимках мы использовали такой дешифровочный признак, как форма крон деревьев и цвет породы. По видовому составу лиственные породы дешифрировались по степени сомкнутости и форме крон, цвету изображения, что в совокупности формировало определенный рисунок изображения. Лиственные породы дешифрировались по более светлому тону изображения в отличие от хвойных насаждений. Дешифрирование по снимкам редколесий отличалось тем, что их изображение имеет более редкую зернистость, чем изображение леса.

Второй подход заключался в выполнении математических процедур, позволяющих сгруппировать объект по некоторому формализованному признаку. В настоящее время в качестве признака на черно-белых снимках используют величину яркости, а на многозональных – набор значений яркости на серии зональных снимков, называемый спектральным образом.

На следующем этапе были подобраны эталонно-калибровочные участки (ЭКУ). При закладке ЭКУ учитывались, в первую очередь, текущие изменения в лесном фонде: усыхание насаждений, гари, ветровалы и др. База данных ЭКУ создавалась с целью четкой и корректной идентификации объекта на космическом снимке, что в конечном итоге использовалось для создания обучающих выборок при классификации космических изображений. База данных ЭКУ включала две составляющие: атрибутивную характеристику дешифрируемого объекта (атрибутивная БД) и его изображение в пространстве (пространственная составляющая). В этой связи создание БД ЭКУ выполнялось на основе геоинформационной системы ArcGIS (ArcView), позволяющей в равной степени отражать вышеуказанные особенности.

Для уточнения дешифровочных признаков объектов лесного фонда проводился анализ результатов полевого эталонирования. На сети ЭКУ были заложены эталонные постоянные пробные площади, на которых был выполнен комплекс полевых работ, основными из которых являлись:

- детальное описание формационно-типологической структуры лесов: состав, возраст, бонитет, тип леса, тип условий местопроизрастания и др.;

– установление связи между структурными элементами лесной экосистемы: наличие ярусности и пространственная структура полога насаждений, наличие подроста, подлеска, напочвенного покрова, изучение структуры почвенного покрова;

– выявление и уточнение дешифровочных признаков эколого-функционального состояния лесных экосистем, участков, подверженных усыханию, гари, вырубке и т. д., на основе различий в спектральных характеристиках изображений на космических снимках;

– уточнение границ контуров и площади тех или иных изменений лесного фонда и увязка их с датой съемки, включая выборочную планово-координатную привязку объектов дешифрирования с использованием систем GPS.

На следующем этапе выполнялась тематическая классификация и дешифрирование текущих изменений и динамики лесного фонда.

Классификация являлась одним из важнейших этапов обработки космических изображений, которая представляла собой процесс сортировки пикселей изображения в конечное число классов, основанный на значениях признаков. При дешифрировании материалов космической съемки использовались различные виды и методы классификации изображений.

Выбор вида и метода тематической классификации имеет важное значение для дешифрирования текущих изменений и динамики лесного фонда. Таким образом, в работе применялась неконтролируемая классификация (без обучения) методом ISODATA и контролируемая классификация (с обучением) методом параллелепипеда, выполненные в ПО ENVI и Erdas Imagine.

В классификации без обучения назначение пикселей на кластеры производилось без использования дополнительных данных. В данной ситуации проводилось формирование групп пикселей со схожими значениями признаков (кластеров) таким образом, чтобы они были компактными и отличными.

Классификация без обучения более автоматизирована: требует минимальных начальных данных для выделения кластеров в соответствии с их отличиями в пространстве признаков, позволяет легко выделить множество кластеров. При этом целесообразно выделять несколько большее количество кластеров, чем количество подлежащих идентификации классов поверхности Земли. Затем можно провести идентификацию и объединение кластеров со схожими средними значениями признаков.

Классификация без обучения полезна, например, для создания основного множества классов, после чего может использоваться классификация с обучением для их уточнения. Результатом классификации без обучения является растровое тематическое изображение. Классификацию с обучением целесообразно использовать тогда, когда необходимо идентифицировать объекты лесного фонда с более высокой точностью, чем позволяет классификация без обучения.

Результатом выполнения классификаций являлось растровое тематическое изображение, которое представлялось в виде тематической растровой карты. Таким образом, полученная тематическая карта сохранялась в соответствующем формате для представления в среде ArcGIS с целью проведения дальнейшего пространственного анализа.

Кроме того, на данном этапе были построены карты, отражающие текущие изменения и динамику лесного фонда (вырубки, ветровалы и др.), составленные с использованием ПО ArcGIS.

Для построения карт были загружены созданные ранее векторные слои, содержащие площадные и линейные объекты: границы кварталов, подписи кварталов, выделы, подписи выделов и т. д. Далее создавались новые темы, представляющие собой векторные слои, для которых задавалось название, например, вырубки 2006 г., вырубки 2007 г., вырубки 2008 г. и проводилась привязка их к геокоординатной основе.

На следующем этапе проводился пространственный анализ изменений в лесном фонде по космическим снимкам. Здесь создавался рабочий проект, где использовались ранее подготовленные материалы космической съемки и цифровой лесной картографии. По результатам созданных тематических карт проводился анализ изменений за небольшой промежуток времени (1–3 года), т. е. определялись изменения в лесном фонде, произошедшие в результате вырубки лесов, а также проведения других лесохозяйственных мероприятий.

На следующем этапе текущие изменения были внесены в атрибутивные БД (описание объектов, например год рубки, площадь и др.) и картографические БД (с изменением границ выделов) с использованием ПО ArcGIS, на основе которой выполняется площадная и ресурсная оценка тех или иных изменений в лесном фонде, которые и являлись последним и самым важным этапом выполняемой работы.

Для проведения площадной оценки насаждения применялись специальные программы для работы с космическими изображениями (ERDAS Imagine, ArcGIS и др.), с помощью которых быстро и точно вычислялись площади вырубок, ветровалов и других повреждений.

Ресурсная оценка включала расчет запаса сгоревшего леса, материально-денежную оценку. При ресурсной оценке погибших насаждений все чаще используется либо визуальный способ, когда таксационные показатели насаждения, включая и запас, определяют глазомерно без каких-либо измерений и перечетов и используя лишь лесоустроительные данные, либо путем закладки пробных площадей с последующим расчетом запаса. Однако последний способ не всегда возможно применить, например, при сплошных гарях или буреломах. Перечислительные и измерительные методы применяются лишь в случаях, когда ресурсная оценка проводится в особо ценных погибших массивах.

Для ресурсной оценки применялись стандартные таблицы хода роста, где приведены значения запасов при полноте 1,0. Поэтому при определении по ним запаса кроме породы надо знать класс бонитета и возраст, а также и отно-

сительную полноту поврежденного или срубленного древостоя.

Далее использовались товарные таблицы для определенных древостоев, определялся процент деловой древесины, дровяной и отходы.

По таксовой стоимости древесины на корню по главному пользованию рассчитывалась стоимость крупной, средней, мелкой древесины и дров. Необходимо отметить, что зная площадь и запас на 1 га поврежденного древостоя, определялась ресурсная оценка на всю площадь вырубки, гари, ветровала, в том числе и по товарной структуре. Используя данные лесхозов по существующим на данный момент ценам на древесину на корню, рассчитывалась материальная оценка выбранного или сгоревшего древостоя. На практике установлено, что ошибки при определении запаса по табличным данным, при наличии только таксационных данных, чаще всего происходят в сторону занижения. Эта систематическая ошибка достигает 10–15%, а в отдельных случаях 25%.

Заключение. Таким образом, система площадной и ресурсной оценки объектов лесного фонда на основе космической информации высшего разрешения может использоваться в лесхозах республики для разработки мероприятий по оптимизации пространственной и возрастной структуры лесного фонда, сохранения и улучшения видового состава лесов, повышения их продуктивности.

Литература

1. Кравцов, С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования земли. Анализ методов / С. Л. Кравцов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 255 с.
2. Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков / И. А. Лабутина. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 182 с.
3. Ермаков, В. Е. Лесоустройство / В. Е. Ермаков. – Минск: Высшая школа, 1993. – 228 с.

Поступила 14.04.2010