

## ЛИТЕРАТУРА

1. Схема развития и размещения лесного хозяйства Белорусской ССР на период до 2005 года. – Мн., 1985.
2. Федоров Н.И. Раптунович Е.С. Массовое усыхание ели в лесах Беларуси и роль в нем грибных болезней // Сб. тр. БГТУ. Сер.1. Лесное хозяйство. Вып. 5.– Мн., 1997.

УДК 630\*587.5

Б. И. Беляев, зав. лаб. НИИ ПФП БГУ; Л. В. Катковский, вед. науч. сотрудник НИИ ПФП БГУ; И. А. Тяшкевич, директор НПП «Космоаэрогеология»; М. А. Ильючик, аспирант

### ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ

The processing of air- and space photographs with roentgenograms analysis plant (УАР-2) is described. The technique of a unified decoding of the air- and space images and some outcomes of air filmings processing are submitted.

В Беларуси разрабатываются современные методы и технологии мониторинга лесов.

В настоящее время создается многоуровневая система лесного мониторинга. Первый уровень – наземный, второй – авиационный, третий – космический. Различные уровни мониторинга взаимосвязаны и сопряжены с геоинформационной системой «Лесные ресурсы», а через нее с Информационной системой управления лесным хозяйством. Автоматизированные системы наземного контроля будут вести наблюдение за состоянием лесов, контролируя в первую очередь пожароопасную обстановку и регистрируя очаги возгорания. Станция приема спутниковой информации с определенной периодичностью будет получать космические спектрозональные снимки, после обработки которых можно оперативно картировать площади ветровалов, буреломов, усыхающих насаждений, вырубков и др. Следует отметить, что подавляющее большинство развитых в настоящее время в дистанционном зондировании методов ориентировано на использование спектральной и пространственной информации, полученной с помощью аппаратуры спутникового базирования, и только очень небольшое число исследователей работает с современной аппаратурой и методами самолетно-вертолетного базирования, что и определяет относительную неразвитость этих методов и средств.

В то же время перспективность развития последних очевидна, особенно для Беларуси, по некоторым причинам: 1) разрешение спутниковых изображений и, соответственно, их точность, а также оперативность значительно уступают таким характеристикам вертолетно-самолетных изображений; 2) большая гибкость выбора объектов для получения аэроизображений также не вызывает сомнений; 3) стоимость приобретения/получения спутникового изображения больше, чем аэроизображения той же площади; 4) смена поколений аппаратуры и связанных с ней методов на спутниках происходит гораздо медленнее, чем на самолетах и вертолетах, ввиду большей стоимости запуска спутника, чем аэроносителя; 5) аэроизображение может быть получено практически для любой площади и любого объекта, чего не скажешь о спутниковых изображениях (влияние облачности, разрешения и т.п.); 6) малодоступность спутниковых изображений для рядового потребителя (это относится не только к Беларуси).

Для детального картирования Гослесфонда и ранней диагностики состояния лесов создаются авиационные средства и методы мониторинга. Они позволяют осуществлять съемку лесных насаждений с малых высот и, с одной стороны, обладают высокой оперативностью, а с другой стороны, обеспечивают необходимую точность диагностики при охвате больших площадей, позволяя уточнять ситуацию, выявленную на основе космических или наземных данных.

В настоящее время НИИ ПФП БГУ по заказу Минлесхоза ведет работы по созданию аппаратно-программного комплекса оперативного контроля состояния лесов с борта летных средств ГП «Беллесавиа». Данная работа основывается на базе аппаратных, методических и программных разработок НИИ ПФП БГУ и опыта, накопленного в ГП «Беллесавиа», РПП «Беллесозащита» и НПП «Космоаэрогеология».

Авиационный аппаратно-программный комплекс оперативного контроля за состоянием лесов основан на новейших методах дистанционной спектроскопии и спектрально-поляризационной съемки изображений. Он включает в себя бортовой комплект аппаратуры для регистрации излучений с борта авиационных носителей и стационарный комплект аппаратуры для тематической обработки данных. Методы авиационного контроля позволяют проводить раннюю диагностику состояния лесов, картировать очаги массового поражения лесных насаждений вредителями, болезнями и т.п., повышать оперативность и качество работ по инвентаризации лесов.

Отдельные космические снимки территории Беларуси (со спутника "Landsat TM") приобретались до настоящего времени НПП «Космоаэрогеология». Одним из важных показателей лесопатологического состояния лесных ландшафтов являются их текстурно-спектральные характеристики на космических изображениях в определенных зонах электромагнитного спектра.

В настоящее время в НПП «Космоаэрогеология» применяется технология интерактивной оптико-электронной обработки многозональных космических снимков (изображений). Она предусматривает аналогово-компьютерную обработку многозональных аэро- и космических снимков по специальным алгоритмам. Процесс обработки происходит по системе, в которой за базовый модуль взята установка анализа рентгенограмм (УАР-2), представляющая собой аналоговую двухканальную телевизионную систему с электронной разверткой изображения. Данный базовый модуль сопряжен с персональным компьютером на базе процессора Pentium-III, периферийными устройствами ввода-вывода изображений. Большим преимуществом данной системы является возможность (при наличии высококачественного исходного снимка) 20- и даже 40-кратного увеличения как самого изображения, так и его фрагмента при сохранении нормального качества, чего никогда не удастся достичь фотографическими либо цифровыми способами. Аналогово-компьютерная обработка исходного снимка позволяет четче выделить и формализовать детали изображения.

Установка УАР-2 позволяет проводить измерения параметров, площадей и условных объемов объектов изображения с точностью до 10%.

Измерение параметров и площадей объектов может оказаться полезным при решении задач мониторинга, например при оценке площадей и изменений лесного полога. По измерению и сопоставлению площадей пораженных и нормальных насаждений можно оценить интегральную оптическую плотность изображения в пределах заданного участка, что необходимо в тех случаях, когда в качестве дешифровочного признака объекта служит его спектральная яркость. Наличие двух независимых телевизионных каналов существенно расширяет возможности УАР-2 и гибридной системы обработки

изображений, позволяет простыми аналоговыми средствами реализовать такие сложные математические преобразования, как свертка (соответствующая операция мультиспектральной фильтрации) и двойное дифференцирование изображения (соответствующие операции пространственно-частотной фильтрации). Физический смысл обеих операций заключается в совмещении позитивного и негативного изображений - в первом случае с различными спектральными, во втором с различными пространственно-частотными характеристиками.

Телевизионная камера является удобным инструментом для совместной обработки пары изображений в режиме реального времени. С ее помощью обработка снимков и все операции над ними сводятся к преобразованиям электрических сигналов. Как и "вычитание" разнозональных изображений, "вычитание" изображений, полученных в разное время года и суток, позволяет получить принципиально новую информацию, не извлекаемую из одиночного снимка. Это используется для изучения сезонных либо долговременных изменений в лесах.

Установка УАР-2 позволяет работать напрямую с цифровыми изображениями. Приобретенные цифровые изображения системы дистанционного зондирования "Ресурс" (Россия) обрабатывались на компьютерном комплексе на базе процессора Pentium-III. Использовались стандартные программы работы с растровыми изображениями, такие, как Corel Photo-paint 8, Photoshop 5, а также специализированные лицензионные программы обработки изображений ER-Mapper-5.1, ER-Mapper-5.2. и GeoMedia Professional.

В результате обработки многозональных космических снимков "Ресурс" получены интегральное изображение Гомельского полигона и интегральное аэрофотоизображение Негорельского полигона, и более подробное - на эталонных участках. Основой обработки явились три исходных спектральных канала: 0,5-0,6; 0,6-0,7 и 0,8-0,9 мкм. На обработанном космическом изображении системы «Ресурс» получены цветовые контрасты, которые формируются за счет целенаправленного сочетания спектральных различий каждой зоны, с одной стороны, и придания значимой составляющей отдельной зоны, в данном случае 0,6-0,7 мкм (средний - зеленый диапазон), - с другой. Как известно, пораженные участки леса характеризуются более высокими коэффициентами спектральной яркости (КСЯ) за счет большего отражения солнечной энергии, в то время как, наоборот, здоровые насаждения отличаются большей поглощающей способностью и, как следствие, меньшим КСЯ. Поэтому целенаправленная обработка снимков позволяет дать ранжирование территории по интегральным КСЯ (в пределах каждого пикселя изображения), что дает общее представление о состоянии исследуемой территории.

Методика дешифрирования авиационных и космических данных представляет собой систематизированную совокупность приемов и операций, которые необходимо выполнить для практической реализации многоуровневого мониторинга состояния лесных территорий Республики Беларусь.

Сущность методики заключается в определении детерминированных связей между оптическими характеристиками излучения, отраженного лесной растительностью, и состоянием лесных насаждений.

Наличие данных наземного выборочного обследования территории на эталонно-калибровочных участках (ЭКУ) крайне желательно, т.к. наземные данные способствуют значительному увеличению точности и надежности дешифрирования.

Исходными положениями методики для решения одной или одновременно нескольких задач обследования леса и дешифрирования по заданной территории являются: а) предварительное установление на основе обработки и анализа имеющихся космических снимков изменений за определенный период в структуре древостоев или параметрах их физиологического состояния; б) установление, на основе отдельных наземных наблюдений (обследований), признаков патологических отклонений, повреждений насаждения, несанкционированных вырубок и т.п.; в) выполнение плановых задач мониторинга лесных территорий республики.

Технологический регламент единой методики дешифрирования включает 6 этапов.

**Этап I. Получение и обработка космических снимков.**

1.1. Полученные с космических спутников серии «Landsat» или «Ресурс» снимки подвергаются аналогово-компьютерной обработке, осуществляются различные преобразования информации (цветовое кодирование, многократное увеличение изображения, улучшение резкости и контраста, подбор определенных сочетаний спектральных зон и т.д. с помощью программ Corel Photo-Paint, Photoshop, ER-Mapper, GeoMedia Professional).

1.2. После обработки данных выявляются территории, подверженные воздействию биологических и/или антропогенных факторов.

**II этап. Подготовка к проведению авиационных измерений.**

2.1. Определение участков для обследования.

2.2. Анализ информации по намеченным участкам, имеющимся в базе данных ГИС «Лесные ресурсы». Запрос и анализ имеющейся дополнительной наземной информации по обследованию намеченных территорий у подразделений Минлесхоза (РПП «Беллесозащита»).

2.3. Определение параметров видеоспектральных измерений. Выбор зон спектра (в зависимости от решаемых задач) для аэросъемки и порядка смены фильтров в полете, необходимого пространственного разрешения, ширины захвата кадра на местности, процента перекрытия кадров вдоль трассы и перекрытия трасс.

2.4. Определение навигационных параметров полетов. Исходя из заданных параметров видеоспектральных измерений устанавливаются: высота и скорость авианосителя (вертолета); направление и протяженность трасс полетов; удаление трасс друг от друга.

2.5. Оформление маршрутной картосхемы. В рамках ГИС «Лесные ресурсы» на изображения выделов с намеченными территориями съемок наносятся маршруты полетов. Использование дополнительной текстовой и цифровой информации (дата, параметры съемок и т.п.).

**III этап. Проведение авиационных измерений.**

3.1. Ознакомление штурмана (пилота) с маршрутной картосхемой.

3.2. Установка съемочной аппаратуры на борт носителя.

3.3. Проведение видео- и спектральных съемок в соответствии с инструкцией. Периодический контроль режимов съемки.

**IV этап. Предварительная обработка данных.**

4.1. Перенос полученных видеоспектральным комплексом ВСК-2 данных на стационарный комплекс обработки (диски, видеокассеты).

4.2. Привязка спектров и изображений к навигационным данным (время, географические координаты) с помощью GPS. Привязка номеров спектров и областей спектрометрирования к соответствующим им фрагментам изображений.

4.3. Обработка спектров. Пересчет в абсолютные единицы СПЭЯ (спектральной плотности энергетической яркости) и относительные единицы КСЯ (программы SQ20SOT, GRS).

4.4. Обработка изображений БСПС (блок спектрально-поляризационной съемки), спектральная и пространственная подвыборки, преобразование видеоформата, контрастирование (программа ENVI).

**V этап.** Тематическая обработка данных.

5.1. Тематическая обработка спектров (программы структурной обработки спектров FACTORS, EXMODEL).

5.2. Тематическая обработка изображений (программа ENVI, Corel PHOTO-PAINT, Photoshop, ГИС «Лесные ресурсы»):

1) геокоординатная привязка изображений, полученных БСПС, к квартальной и пывыдельной сеткам ГИС «Лесные ресурсы» и к космическим снимкам; 2) мозаицирование изображений для получения площадных изображений; 3) обработка изображений и классификация площадей лесных территорий в соответствии с решаемой задачей; 4) «загрубление» аэроизображений (конволюция видеоданных) с целью приведения их к одинаковому с космическим снимком пространственному разрешению; 5) сопоставление и анализ авиационных и космических изображений в одинаковых зонах спектра. В случае необходимости коррекция и повторная тематическая обработка изображений с использованием других спектрально-аналитических методов; 6) совместный анализ спектральных и видеоданных, сопоставление с имеющимся банком данных; 7) сопоставление и совместный анализ данных авиасъемок и наземных данных с ЭКУ (шаблонов).

**VI этап.** Составление единого банка данных.

6.1. Построение картосхем и вывод их на печать.

6.2. Построение карт-изображений, представляющих собой изображение-мозаику с наложенными на него картографическими элементами (координатной сеткой, условными обозначениями, текстом, масштабом и пр.).

6.3. Занесение полученной спектральной и видеоинформации, а также данных наземных исследований после обработки в соответствующие разделы банка данных (космических, авиационных, наземных в ГИС) в виде спектров, изображений, карт-изображений и векторных слоев с «привязанными» к ним записями в базе данных и необходимой сопутствующей информацией.

Блок-схема методики единого дешифрирования многозональных авиационных и космических изображений, иллюстрирующая последовательность приемов и операций, которые необходимо провести для получения результата, дана на рисунке.

Авиационные измерения проводились в 1999 и 2000 гг. с целью испытания создаваемого авиационного аппаратно-программного комплекса, а также набора данных по спектральным отражательным характеристикам лесных насаждений для разработки методов дистанционной диагностики состояния лесов.

Авиационные измерения спектров и изображений с экспериментальным образцом аппаратуры проводились на лесных территориях Молодечненского, Воложинского и Столбцовского лесхозов.

По данным космического снимка с «Landsat ETM<sup>+</sup>», обработанного в НПП «Космоаэрогеология» и сотрудниками РПП «Беллесозащита», в Лебедевском лесниче

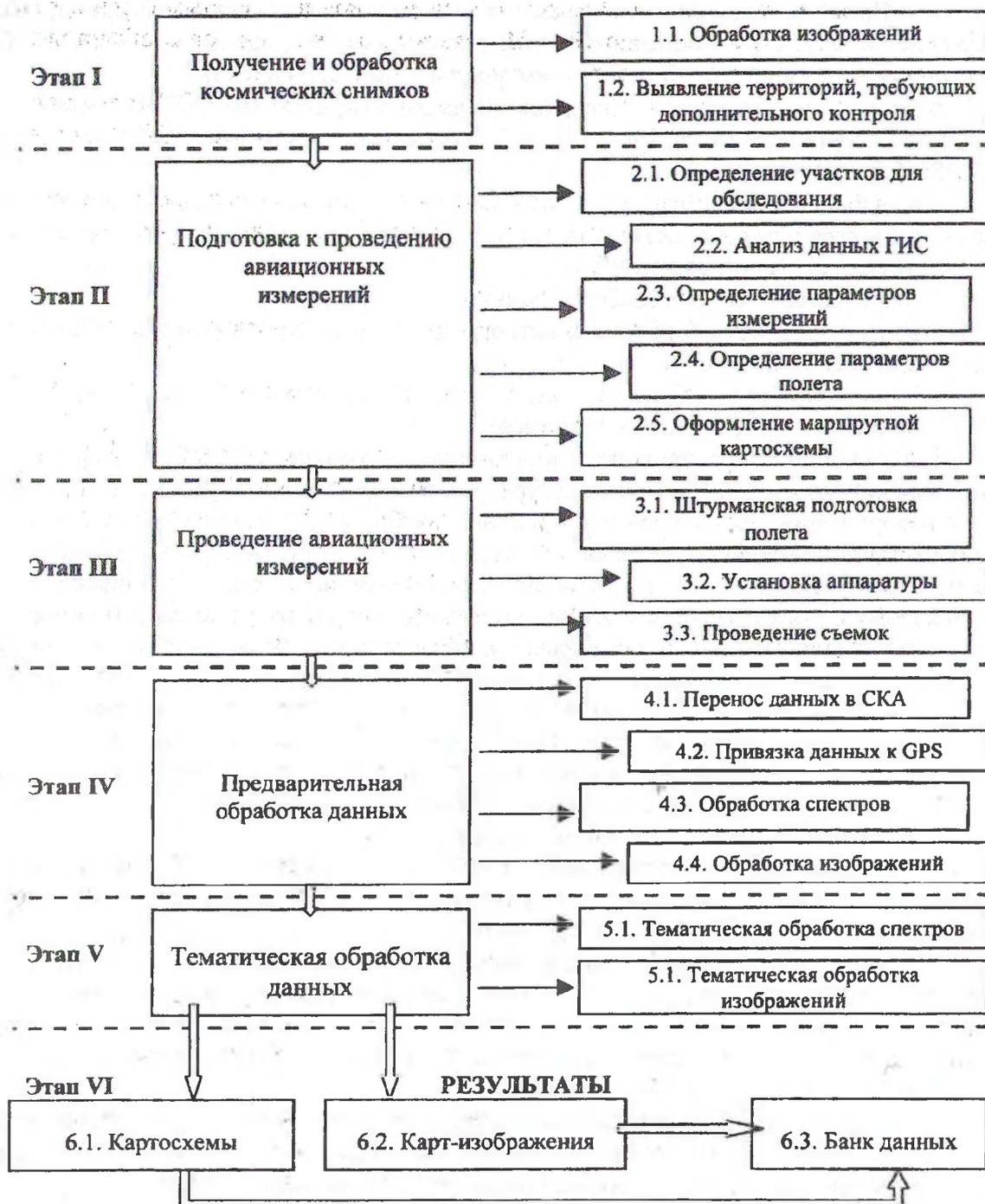


Рис. Блок-схема методики единого дешифрирования авиационных и космических изображений

стве Молодечненского лесхоза были подобраны опытные объекты – усыхающие ельники: № 1 – квартал 128, выдел 5; № 2 – квартал 129, выдел 12; № 3 – квартал 129, выдел 16; № 4 – квартал 130, выдел 45.

В результате проведенных с борта вертолета Ми-2 съемок вдоль ряда трасс Красненского и Лебедевского лесничеств были получены изображения в трех зонах спектра (условно R, G, B). Для предварительной и тематической обработки были отобраны последовательности изображений вдоль каждой трассы, обеспечивающие перекрытие последовательных (соседних) кадров в пределах 10-60%.

Основная задача, стоящая перед проведенными исследованиями, состояла в отработке методик съемки и обработки полученных изображений с целью определения границ усыхающих ельников. По данным наземных обследований предприятия «Беллесо-защита», усыхание вызвано повреждением еловых насаждений жуком короедом-типографом. Очаги поражения отмечены в 12 выделе 129 квартала, 5 выделе 128 квартала и некоторых других. Вдоль всех трасс съемок были построены мозаичные изображения (в один кадр шириной).

Для обработки спектральнозональных изображений, полученных с вертолета, использовалась программа ENVI. При привязке и совмещении изображений вначале производится выбор опорных точек (GCP - ground control points) – наиболее характерных общих точек, присутствующих на обоих совмещаемых изображениях. В нашем случае это – пересечения дорог, квартальных просек, яркие точки вершин отдельных деревьев. Таких точек должно быть  $\geq 4$ .

Методы спектральнозональной обработки позволяют обнаруживать и выделять ветровалы и вырубки на изображениях, полученных с вертолета во всем диапазоне высот. В то же время для детального подсчета количества срубленных деревьев (пней) высоты съемки с вертолета должны быть в диапазоне 100-300 м.

Таким образом, в результате обработки изображений, полученных во время летных испытаний экспериментального образца ВСК-2 на борту вертолета Ми-2 вдоль отдельных трасс полета, определены возможности методов дешифрирования и обработки спектральнозональных изображений, позволяющих обнаруживать и выделять различные категории участков (сухостойников, вырубок и т.п.), оконтуривать и подсчитывать площади, проводить координатную привязку изображений, выполнять построение протяженных мозаичных изображений.

НИИ ПФП БГУ совместно с НПП «Космоаэрогеология», БГТУ и РПП «Беллесо-защита» разработал единую методику дешифрирования многозональных авиационных и космических изображений. Эта методика позволит, обнаружив из космоса изменения в лесах страны, оперативно уточнить эти данные с высоким пространственным разрешением вплоть до подсчета отдельных деревьев и оценки их состояния. В настоящее время идет практическая апробация аппаратуры и методов комплексного многоуровневого мониторинга на базе лесхозов Беларуси. НПП «Космоаэрогеология», НИП ГИС НИО «Кибернетика» НАН Беларуси совместно с ГЛПО «Белгослес», государственным предприятием «Лесмашинвест» разработали научные основы системы компьютерной тематической обработки многозональных космических снимков для оперативного картирования площадей лесов, ветровалов, буреломов, очагов усыхания насаждений и т.п. изменений, происходящих на территории Гослесфонда. В перспективе перечисленные выше задачи будут решаться проще и оперативнее с помощью станции приема космической информации, которую планирует закупить Минлесхоз.