

УДК 630\*587.2;587.5

О. А. Атрощенко, профессор; В. В. Гучек, гл. инженер НИП ГИС НАНБ;  
В. Г. Матюшонок, аспирант

## **ДЕШИФРИРОВАНИЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ С РОССИЙСКОГО ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ "РЕСУРС-01"**

The technology of forest decoding on prevailing species and groups of age on space snapshots and opportunity of using of remote sensing materials received from the Russian satellite "Resource-01" is stated.

Дистанционные методы сбора и обработки информации о природных объектах по качеству, объему, достоверности, объективности и доступности данных значительно превосходят традиционные наземные контактные методы. Российские космические аппараты серии «Ресурс-01» оснащаются аппаратурой высокого и среднего разрешения, что обеспечивает съемку поверхности Земли в ряде спектральных диапазонов. В настоящее время информационные возможности системы на базе ИСЗ «Ресурс-01» сопоставимы с возможностями американской системы LANDSAT.

Основным отличием «Ресурс-01» от своих предшественников является возможность передачи с борта ИСЗ числовых изображений, благодаря чему потребителю стали доступны не только многозональные фотографии земной поверхности, но и числовые фотоснимки на машинных носителях информации. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представлены преимущественно аэрокосмическими снимками. Использование данных космических съемок высокого разрешения дает уникальную возможность для исследования состояния и динамики лесов, позволяет создавать тематические карты лесонасаждений.

Как известно, насаждения обладают спектральными свойствами, которые определяются в основном способностью листвы отражать, поглощать и пропускать солнечную энергию. Отражение, поглощение и пропускание падающих солнечных лучей зависят от длины волны света. Определенная часть падающего потока излучения поглощается листом, другая - отражается, а часть проходит сквозь него.

Так, в интервале длин волн 0,4-0,7 мкм световой поток проходит в мезофилл листа и в содержащую пигмент хлоренхиму, в которой поглощается. В интервале длин волн 0,7-1,3 мкм большая часть потока солнечной энергии отражается от листа. В этом диапазоне отражение растениями наиболее сильное, величина его в зависимости от вида растительности составляет от 30 до 70% всей энергии падающего потока излучения. В более длинноволновой части инфракрасного диапазона 1,3-2,5 мкм спектральное отражение здоровой зеленой листвы снижается. Важно отметить то, что спектральное отражение отдельных типов растительности и различных растительных сообществ имеет свои особенности в определенном интервале длин волн. Эти характерные особенности спектрального отражения позволяют проводить дешифрирование разных видов растительности по данным дистанционного зондирования и в наиболее благоприятных случаях совместно с другими критериями отождествлять образы растительности с тем или иным ее видом.

На более длинных волнах доминирующую роль играет поглощение излучения водой, содержащейся в листьях. В диапазоне более 3 мкм лист поглощает практически неселективно 96-98 % падающего излучения, что дает возможность определять дефи-

цит влаги в почве по увлажненности листьев. К увеличению спектральной яркости в полосах поглощения хлорофилла приводят недостаточная влажность и удобренность почв, недостаток света, заболевание растений, аномально высокая концентрация металлов в почве. В период цветения спектральная яркость, например, на длине волны 0,66 мкм может увеличиваться в 2 раза. Все эти факторы позволяют эффективно использовать ДЗЗ в оптическом диапазоне.

Растения реагируют на изменения окружающей среды изменением содержания пигмента, структуры мезофилла, а также изменениями свойств поверхности листьев и влагосодержания в них. Такая реакция растений на изменения почвенного покрова, морфологии рельефа местности, климатических особенностей, гидрологического режима территории и других внешних факторов всегда воздействует на свойства спектрального отражения и поглощения света листвой и находит отражение на образах растительности, получаемых при ДЗЗ в оптическом диапазоне.

Различия спектральных характеристик определенных растений в одни сезоны года более четкие, чем в другие. В целом изменения спектральных характеристик у хвойных деревьев в вегетационный период выражены менее четко, чем у лиственных.

Важным при дистанционном зондировании является и то, что величина потока энергии, которая регистрируется приемником, зависит от температуры листьев растений. Растительные сообщества, обладающие разной величиной температурного излучения, отличаются друг от друга на тепловых изображениях оттенками тона, яркость которых соответствует разным радиационным температурам. Тепловая характеристика растений зависит от многих факторов: температуры листьев и изменяющейся в зависимости от нее излучательной способности в суточном и годовом циклах жизнедеятельности растений; интенсивности потока солнечной радиации, также меняющейся по времени суток и года; температуры и относительной влажности воздуха; метеоусловий; состояния атмосферы и скорости ветра, влажности почвы, содержания в ней питательных и минеральных веществ и величины испарения самого растения.

После получения материалов дистанционного зондирования любой снимок любой аппаратурой с любого носителя требует дополнительной обработки. Вся обработка и использование данных ДЗЗ производится в цифровом виде с помощью компьютеров.

Основные этапы обработки:

- предварительный (геометрическая и яркостная коррекции, составление мозаики из нескольких снимков);
- тематический – классификация, автоматическое выделение (распознавание, дешифрирование) объектов.

Предварительная обработка проводится программой PSViewer. С помощью этой программы исходное изображение загружается в формате RSR и отображается на экране монитора. Можно работать с данным изображением, загруженным как поканально, в градациях серого цвета, так и с псевдоцветным изображением с произвольным формированием палитры. Данный программный продукт позволяет выполнять следующие функции:

- 1) визуализация изображения;
- 2) устранение шумов, если они присутствуют на данном изображении;
- 3) гамма-коррекция;
- 4) расчет гистограмм и поэлементная фотометрия;
- 5) радиояркостная калибровка изображений.

Визуализация – это способ отображения данных, ее задача – облегчить пользователю работу со снимками, дать ему возможность подчеркнуть те или иные характеристики изображения или объектов. Поскольку визуализация может быть довольно сложной, ее обычно связывают с так называемыми улучшающими преобразованиями изображений. Управление визуализацией снимков осуществляется специальной программой Визуализатор.

Визуализатор работает с легендами нового типа, свойственного только снимкам, причем первые могут быть двух видов: одноканальная (например, для панхроматических снимков) и многоканальная (для снимков в естественных цветах и для визуализации многозональных снимков в псевдоцветах).

После предварительной обработки космоснимок или фрагмент космоснимка загружается в программу ActualMap для дальнейших преобразований.

ActualMap позволяет привязать имеющуюся космическую информацию к топографической основе либо в виде векторной карты, либо в виде растровой топоосновы на интересующий нас район. Привязка снимка к карте осуществляется по специальному алгоритму, для нормальной работы которого необходимо не менее 4 точек, которые хорошо видны на снимке и на карте. В качестве точек привязки лучше всего выбирать пересечения дорог, рек и дорог, кварталных просек.

После выполнения этой процедуры можно приступить к выбору эталонно-калибровочных участков (ЭКУ). Выбор ЭКУ производится на основе данных, подготовленных заранее по материалам лесоустройства, а именно по материалам наземной таксации.

Следующий этап – это просмотр космоснимка программой MaskEdit, которая позволяет выделить только те участки, которые по своим спектральным характеристикам соответствуют эталонным участкам. Результирующее изображение загружается обратно в программу ActualMap.

Завершающим этапом всего технологического процесса дешифрирования насаждений по группам возраста на космических снимках является создание тематических карт. Изображение, полученное на этапе автоматизированного дешифрирования, трансформируется по опорным точкам топоосновы и совмещается путем наложения снимка на карту. В результате формируется новое изображение. Таким образом, по результатам автоматизированного дешифрирования создается новая тематическая карта древесной породы той или иной группы возраста или обновляется уже имеющаяся. Наносятся новые объекты или уточняются старые, заполняется атрибутивная информация. Чтобы карта не потеряла своей информативности, а значит, и качества, необходимо тщательно проверить приписанные исходным данным атрибуты, а также полноту охвата источника информации.

Совместное использование банка данных ГИС "Лесные ресурсы" и изображений, полученных с ИСЗ "Ресурс-01", позволяет осуществить обоснованный выбор эталонно-калибровочных участков (ЭКУ) для определенных групп возраста лесонасаждений. Однако имеется ряд факторов, снижающих точность выбора ЭКУ, прежде всего невозможность осуществить этот выбор автоматически. На полученный результат влияют и ошибки совмещения цифровой карты и спутникового изображения, и неоднородность атмосферных условий ввиду остаточного влияния облачности, и краевые эффекты, приводящие к образованию смешанных пикселей на границах различных классов объектов.

При оценке спектральных характеристик для каждой однородной совокупности лесонасаждений рассчитываются средние значения и дисперсии яркостей, матрицы корреляций между зональными яркостями, а также значения дивергенции, позволяющей оценить степень разделяемости парных сочетаний анализируемых групп возраста.

Процедура дешифрирования насаждения по группам возраста определяется следующей последовательностью предпринимаемых шагов: распознавание, интерпретация и принятие решений.

На этапе распознавания путем анализа свойств материалов ДЗЗ и признаков дешифрирования решается задача установления изображенных предметов, явлений или их свойств.

Тематическая интерпретация проводится по окончании этапа распознавания путем построения большей частью умозрительной модели факторов, оказывающих влияние на состояние и классификационно-легендное положение объектов дешифрирования. Отнесение объекта к определенной классификационной группе происходит по набору нежестких правил, вытекающих из свойств и характеристик обрабатываемого дистанционного изображения. Интерпретация использует логические категории, основанные на коррелятивных связях между компонентами ландшафта. Принятие решений в тематическом дешифрировании связывается в основном с процедурой выделения текущего объекта графически и последующей жесткой связью его тематического содержания с одним из таксонов легенды. Кажущаяся простота этапа принятия решения на практике выливается в одну из самых трудоемких и нетехнологичных процедур - оценку степени достоверности опорных признаков дешифрирования для текущего объекта.

При распознавании и определении таксационных показателей и качественных характеристик древостоя важнейшую роль играют признаки, передающие особенности изображенных на космическом снимке объектов и обеспечивающие их идентификацию. В данном случае определяющее значение в качестве признака дешифрирования имеет цвет, фиксирующий различия спектральной отражательной и излучательной способности древесных пород. Цвет также является наиболее информативным признаком дешифрирования космической информации, передающим в спектральных яркостях различия лесных объектов. При визуальном сравнении снимков можно наблюдать различие между хвойной и лиственной породой.

На снимках сосна отображается темно-бордовым, почти черным цветом. Ель несколько светлее. Лиственные породы имеют еще более светлый окрас, ближе к красному и ярко-красному. Причем территории молодняков и средневозрастных древостоев ольхи черной имеют более яркий цвет, почти алый, а приспевающие и средневозрастные - лиловый и грязно-лиловый цвет.

Говоря о визуальных признаках дешифрирования лесонасаждений по преобладающим породам и группам возраста, необходимо отметить и яркость изображения, значения которой в зависимости от породы и класса возраста сильно различаются. Кроме этого, уровень яркости изображения по сезонам также существенно изменяется.

Дистанционные методы изучения лесных ресурсов и оценки их состояния, основанные на использовании материалов космических съемок, позволили перейти на новый уровень решения целого ряда лесохозяйственных задач. Одна из них - это дешифрирование космоизображений по группам возраста. Космические снимки, обладая повышенной обзорностью, высокой периодичностью и оперативностью поступления, порождают интенсивные информационные потоки, требующие ускоренных методов обработки. Традиционные методы, основанные на визуальном дешифрировании снимков,

по целому ряду причин не могут обеспечить бесперебойное извлечение информации в необходимых объемах и в заданные сроки. Практика показывает, что необходимы новые автоматизированные методы, которые при разумном сочетании возможностей человека и технических средств позволили бы оперативно извлекать информацию из снимков и выдавать результаты в заданной форме.

Целью автоматизации является повышение производительности обработки, увеличение точности и объективности получения результатов. Для этого разработана программа MaskEdit, предназначенная для спектральной обработки графических файлов с материалами дистанционных съемок с ИСЗ «Ресурс-0».

Для решения задач тематического дешифрирования лесонасаждений необходима многозональная съемочная информация с разрешением на местности порядка нескольких десятков метров. Это обуславливает необходимость применения для съемки лесов различных космических аппаратов (КА), оснащенных комплексом съемочной аппаратуры.

Информация с разрешением в сотни метров и выше позволяет лишь отличать лесные земли и нелесные, а для более конкретного дешифрирования по породному составу и разделению на группы возраста нужна информация более высокого разрешения.

Необходимо проводить съемку в нескольких зонах спектра. Однако число каналов при многозональной съемке с российских ИСЗ, как правило, невелико – 2-3. Интервалы зон при решении различных задач не совпадают. Они зависят от объектов и сезона съемки и определяются экспериментальным путем. Исследования показали, что наибольший объем информации о лесах и их состоянии позволяют получить снимки в зеленой, красной и ближней инфракрасной зонах электромагнитного спектра.

Важное значение имеет и оперативность получения информации. Наиболее оперативно может быть получена информация лишь на основе применения сканирующих или фотографических систем. Радиолокационные системы наблюдения из космоса пока еще не нашли практического применения и в ряде случаев используются в качестве дополнительной информации. Однако вероятность выполнения фотосъемки из космоса заданных территорий в силу меньшего по времени нахождения ИСЗ на орбите и ограниченности запасов фотопленки на их борту значительно меньше, чем при сканерной съемке с оперативных ИСЗ. К тому же последней отдается предпочтение также и в силу того, что обработка съемочной информации может осуществляться автоматизированными методами.

Таким образом, проанализировав возможности современных спутниковых систем, можно сделать вывод, что оптимальным техническим решением проблемы дешифрирования космических снимков на региональном уровне будет использование цифровой информации, поступающей со спутников серии "Ресурс-0" от многоканальной сканирующей аппаратуры МСУ-Э; пространственное разрешение 45x34 метров, радиометрическое разрешение 256 градаций серого, спектральный диапазон – 2 видимых и 1 инфракрасный канал, ширина полосы съемки – 45 км.

Сравнительный анализ данных лесоустройства и материалов, полученных на основе визуального и автоматизированного дешифрирования, показывает, что результаты последнего по определению групп возраста лесонасаждений имеют достоверность в пределах 70%.