

УДК 528.8+681.3:574.4

КЛАССИФИКАЦИЯ СКАНЕРНЫХ СНИМКОВ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

П. Ю. Литинский

Институт леса Карельского научного центра РАН

Описывается метод классификации снимков космических сканеров (Landsat TM/ETM+, IRS и аналогичных), основанный на моделировании спектрального пространства в 3D-осях x, y, z , где x и y – соответственно первая и вторая главные компоненты логарифмированной матрицы снимка (каналы G, R, NIR, SWIR2), а z – индекс стресса влажности MSI (отношение каналов SWIR1 и NIR). Декомпозиция неоднозначных спектральных классов производится по геоморфометрической модели и по разновременным данным. Метод оптимален для моделирования структуры и динамики таежных экосистем.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, классификация многоспектральных сканерных снимков, геоинформационное моделирование.

P. Yu. Litinsky. MULTISPECTRAL IMAGERY CLASSIFICATION METHOD BASED ON SPECTRAL SPACE MODELING

A method for satellite imagery (Landsat TM/ETM+, IRS, etc.) classification based on spectral space modeling is described. The 3D model is built in xyz -axes, where x and y are the first two principal components of the image matrix in logarithmic form (bands G, R, NIR, SWIR2), and z is the moisture stress index MSI (SWIR1/NIR). Ambiguous spectral classes are decomposed using the geomorphometric model and time series imagery. The method is optimal for taiga ecosystem structure and dynamics modeling.

Key words: remote sensing, multispectral imagery classification, geoinformation modeling.

ВВЕДЕНИЕ

Первый этап построения математической модели структурно-функциональной организации биосферы – создание структурной (геоинформационной) модели экосистем на основе данных дистанционного зондирования (ДЗ). Наиболее распространенный в настоящее время тип систем ДЗ – космические сканеры высокого пространственного разрешения (размер пиксела 10–30 м), такие как Landsat

TM/ETM+, Spot, IRS, регистрирующие кривую спектрального отражения (сигнатуру) в нескольких диапазонах для каждого пиксела снимка (рис. 1).

Наиболее характерная особенность сигнатур всех растительных категорий земной поверхности – минимальное отражение в красном диапазоне и максимальное – в ближнем инфракрасном. Первое объясняется поглощением хлорофиллом энергетически насыщенных участков видимого спектра, второе –

изменением коэффициента преломления в губчатой паренхиме, между воздухом в межклеточных пространствах и гидратированной целлюлозой клеточных стенок [Горышина, 1979].

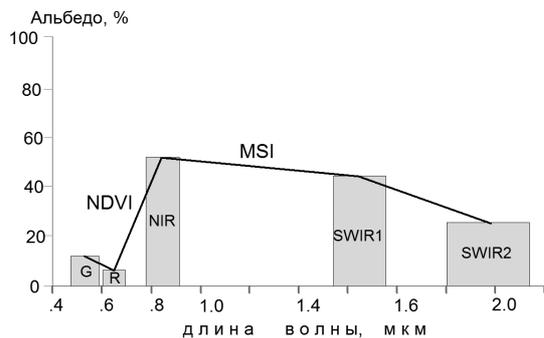


Рис. 1. Спектр отражения зеленой растительности и спектральные диапазоны каналов сканера Landsat-TM. Ширина столбцов диаграммы соответствует диапазонам: G – зеленый, R – красный, NIR – ближний инфракрасный, SWIR1 и SWIR2 – средне-волновые инфракрасные. Названия индексов NDVI и MSI расположены над отрезками сигнатуры, определяющими величину соответствующих индексов

Поэтому наиболее общая характеристика растительного покрова на сканерном снимке выражается через отношение каналов NIR и R – так называемый вегетационный индекс NDVI, Normalized Difference Vegetation Index [Tucker, 1979; Sabins, Floyd, 1987]. Индекс рассчитывается как разность значений отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, поделенная на их сумму. Для зеленой растительности отражение в красной области всегда меньше, чем в ближней инфракрасной, поэтому значения NDVI для растительности всегда больше нуля, а максимальное значение индекса при прочих равных условиях наблюдается в пикселях с максимальным количеством фотосинтезирующей биомассы. Чем ближе к вертикали отрезок сигнатуры на участке R-NIR, тем выше значение индекса.

Различия в водном режиме растений наиболее сильно проявляются в средневолновом инфракрасном диапазоне SWIR1, поэтому для выявления участков с различными по влажности условиям произрастания используется спектральный индекс стресса влажности – MSI, moisture stress index, равен отношению каналов SWIR1 и NIR [Rock et al., 1985]. Чем выше значение индекса (ближе к горизонтали соответствующий участок сигнатуры), тем больше дефицит влаги в листьях (хвое). Та-

ким образом, наиболее информативны для классификации растительных экосистем два отрезка сигнатуры – на участке R-NIR-SWIR1 (данное «геометрическое» пояснение способствует лучшему пониманию изложенного ниже материала).

Состояние вопроса (ТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД)

При создании геоинформационных моделей на основе сканерных снимков обычно используется так называемая классификация «с обучением» (иногда употребляется термин «управляемая классификация»), основанная на математической экстраполяции данных наземных ключевых участков на всю охваченную снимком территорию. В целом процесс включает следующие стадии:

- составление схемы классификации (списка целевых категорий земной поверхности);
- закладка ключевых участков в выбранных категориях;
- обработка снимка (собственно классификация);
- оценка достоверности классификации.

Проблема в составлении схемы классификации состоит в том, что реальная информация, содержащаяся в снимках, далеко не всегда согласуется с представлениями, заложенными в типологии растительности [Пузаченко и др., 1998]. На исследуемой территории всегда могут обнаружиться категории с неизвестными ранее характеристиками.

Методы обработки снимков, применяемые для управляемой классификации, основаны на стандартных методах многомерной статистики – сигнатуры сканерного снимка рассматриваются как объекты многомерного спектрального пространства (СП). Наиболее достоверным принято считать метод максимального подобия [Richards, Xiuping, 1999]. Классификация проводится по максимуму плотности вероятности принадлежности сигнатуры к той или иной категории, т. е. метод является вариантом дискриминантного анализа и, соответственно, для него необходимо статистически достоверное количество сигнатур каждой категории. Поэтому, как отмечают многие исследователи, приемлемая достоверность классификации достигается только при весьма значительном количестве правильно подобранных ключевых участков [Замятин, 2006; Шаталов и др., 2007]. Применяется также метод гиперпараллелепипедов, метод наименьшего евклидова расстояния (или расстояния Махаланобиса при достаточном количестве ключевых участков), метод множественной регрессии и другие.

Для оценки достоверности полученных результатов проводится выборочная проверка на местности, которая по сути дела показывает, какой процент площади каждой категории соответствует категории ключевого участка (каппа-статистика). Насколько при этом соответствует действительности реальная форма объектов, остается неизвестным. Назначение геоинформационной модели – быть структурной основой для создания функциональной модели, в которой важнейшее значение приобретает характер территориальной сопряженности, определяющий межэкосистемные связи, и, следовательно, необходимо точное отображение структуры.

Нужно отметить, что при наличии ключевых участков, представляющих все категории земной поверхности: леса различного типа, состава, возраста, полноты и т. д., типы болот, вырубок, сельхозугодий и т. д., плотно заполняющие все СП, и в количестве, обеспечивающем статистическую достоверность для каждой категории, с практически одинаковым результатом может использоваться любой из вышеуказанных методов обработки, однако на практике трудно обеспечить наличие такого количества ключевых участков.

Проблема заключается также в том, что вследствие технического ограничения приборов ДЗ (регистрируется интегральная информация участка поверхности Земли площадью несколько сотен квадратных метров) одна и та же сигнатура может соответствовать нескольким принципиально различным категориям, в связи с чем делается вывод о недостаточно высокой точности подобных методов [Ершов, Барталев, 1998], а некоторые авторы заявляют об их несостоятельности [Пузаченко и др., 1998].

В ходе наших работ по применению дистанционных методов для изучения структуры и динамики таежных экосистем [Литинский, 1996, 2003, 2007] сформировалось понимание основного недостатка традиционного подхода: при любом методе обработки и даже при наличии большого количества ключевых участков СП остается «черным ящиком». Исследователь не может оценить реальные размеры и расположение категорий в СП, их пространственную сопряженность, т. е. по сути дела действует вслепую. То есть основная проблема состоит не в выборе метода обработки снимка, а в подборе ключевых участков.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

При создании геоинформационной модели, включающей все категории земной поверхности, необходимо принципиально иначе подой-

ти к классификации – визуализировать все СП (т. е. создать его модель), исследовать закономерности его организации, чтобы целенаправленно подойти к выбору ключевых участков. Самый простой способ это сделать – трансформировать многомерную матрицу сканерного снимка методом главных компонент [Richards, Xiuping, 1999]. Величины яркости различных каналов в высокой степени взаимно коррелируют, поэтому на снимках Landsat 7 различных типов таежных ландшафтов суммарная доля первых двух компонент составляет 96–98 % вариации [Литинский, 2007]. Доля третьей и последующих компонент сопоставима с измерительной погрешностью сканера. Теоретически это позволяет предположить, что с минимальными потерями информации абстрактное многомерное СП можно представить в наиболее удобном для анализа виде – в двухмерной прямоугольной системе координат (ось x – первая компонента, y – вторая).

При размещении сигнатур в осях компонент происходит их автоматическая ординация – сходные по форме сигнатуры располагаются рядом друг с другом, а наиболее контрастные – по различным краям поля распределения, образуя проекцию спектрального гиперэллипсоида, визуальный образ СП (рис. 2). Размерность осей компонент на рисунке не указана, поскольку в данном случае их конкретные величины значения не имеют.

Суммарная величина формирующих сигнатуру значений (общая яркость) возрастает слева направо, вдоль первой главной компоненты, вторая компонента характеризует качественные различия категорий. Конфигурация спектрального гиперэллипсоида несколько меняется в зависимости от типа сканера, сезона съемки и особенностей территории, однако существуют и четкие общие закономерности. Водные поверхности находятся в его левой, наиболее «темной» части. Области лишенных растительности категорий (с отрицательным значением индекса NDVI, т. е. с превышением уровня красного канала над ближним инфракрасным) располагаются вдоль верхней части эллипсоида, а по направлению вправо и вниз значения индекса возрастают, индицируя увеличение фотосинтезирующей биомассы.

Несмотря на удовлетворительную, на первый взгляд, ординацию, результаты классификации снимка показали, что в некоторых случаях в одной и той же области СП находятся принципиально различные категории – например, сельскохозяйственные земли (луга)

и некоторые участки верховых болот, причем различия в оттенках этих категорий заметны даже на RGB-растре, синтезированном из инфракрасных каналов. Это свидетельствует о том, что фактически СП не плоское, а имеет некое третье измерение.

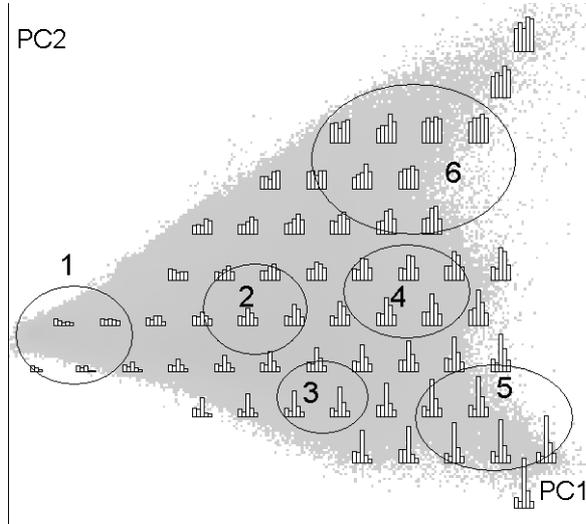


Рис. 2. Схема ординации сигнатур снимка таежной территории в двухмерном пространстве главных компонент PC1 и PC2. Цифрами обозначены области: 1 – водная поверхность, 2 – хвойные леса, 3 – хвойно-лиственные леса, 4 – кустарники, 5 – травянистая растительность, 6 – лишённые растительности категории. Диаграммы сигнатур показывают относительный уровень яркости каналов G, R, NIR, SWIR1, SWIR2 слева направо

Для выяснения физического смысла этого измерения были выведены в виде графика все сигнатуры снимка, соответствующие нескольким определенным точкам СП (рис. 3, b, c, d). Оказалось, что в каждой точке находятся существенно различные сигнатуры, особенно четко это выражено в точке, которой соответствует график d, где явно просматриваются две категории – вышеупомянутые луга и болота.

Отрезки графиков на участке R-NIR-SWIR1 сходятся в точке NIR – т. е. в каждой точке СП находятся сигнатуры с существенно различными значениями индексов как NDVI, так и MSI, и поэтому ординацию нельзя признать удовлетворительной. Разброс сигнатур по всем каналам, кроме NIR, показывает, что для решения задачи классификации требуется ввести третье измерение, но физический смысл этого измерения не поддается однозначной интерпретации.

Причина такого характера организации СП в том, что растительные категории занимают

подавляющую часть любого снимка таежных территорий, а уровень ближнего инфракрасного канала в данных категориях значительно больше, чем у остальных каналов. Компонентный анализ «считает» эту особенность наиболее важной характеристикой сигнатуры и помещает объекты с принципиально различными биологическими характеристиками в одну область пространства.

Уменьшить влияние высокого уровня ближнего инфракрасного канала на положение сигнатуры в СП, максимально сохранив при этом индивидуальные особенности сигнатур, и повысить таким образом дифференциацию категорий, можно логарифмированием исходных значений матрицы снимка. При этом СП в целом несколько «сжимается» по вертикали, левая («водная») его часть, наоборот, становится более объемной, в средней части существенных изменений не происходит (рис. 4, а).

Более всего трансформируется зона высоких уровней инфракрасного канала – перекрывавшиеся в исходном пространстве категории не только отделяются друг от друга, но и их положение в СП становится более компактным (рис. 4, b, c, d). Отрезки сигнатур на участке R-NIR почти параллельны, следовательно, СП логарифмированной матрицы удовлетворительно упорядочено по значениям индекса NDVI. На участке NIR-SWIR1 наблюдается максимальная вариация значений сигнатур, т. е. третья размерность СП становится четко определенной – она соответствует индексу влажности MSI, и таким образом 3D-пространство в осях PC1-PC2-MSI может быть использовано для создания модели СП сканерного снимка.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА

Формирование модели СП, ее анализ и последующая классификация снимка могут быть реализованы в профессиональных пакетах обработки ДЗ (например, ERDAS), включающих классификацию методом feature space, который позволяет создавать полигоны в произвольной форме в двухканальном поле распределения сигнатур. Затем производится разделение перекрывающихся сегментов по значению MSI с использованием растровой алгебры, поэтому весь процесс представляет собой достаточно сложную последовательность операций. Для его упрощения нами разработан программный модуль, с помощью которого все операции осуществляются автоматически, и создается модель СП в наглядном и удобном для анализа и корректировки виде.

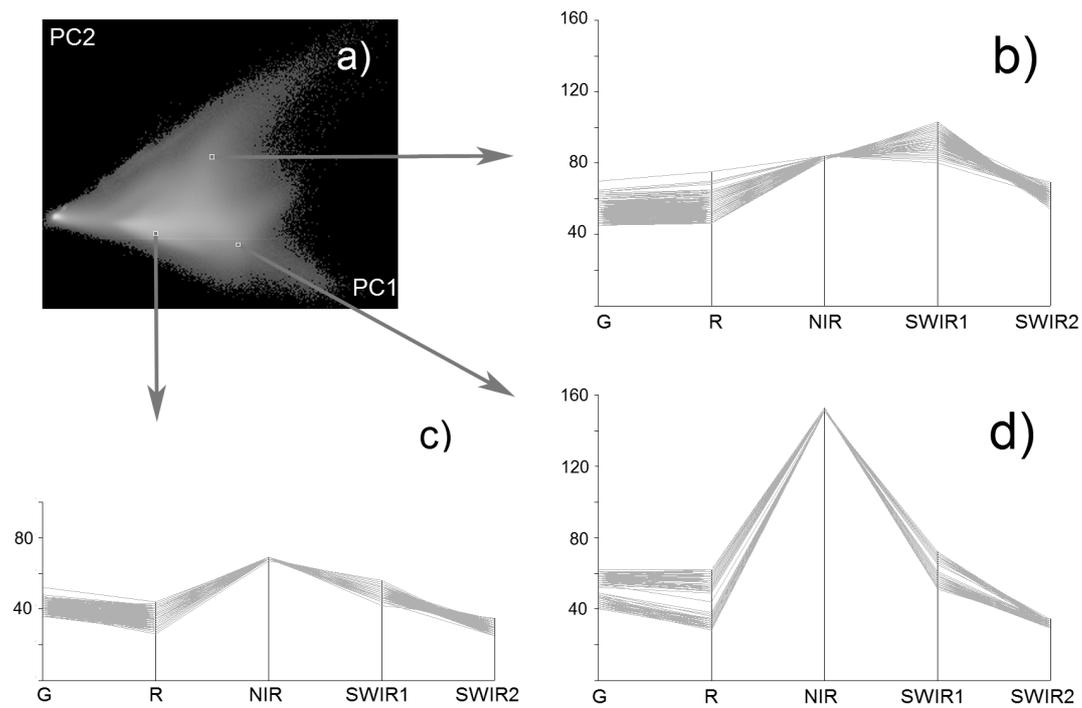


Рис. 3. Спектральное пространство в осях компонент (а) и сигнатуры отдельных точек (b, c, d)

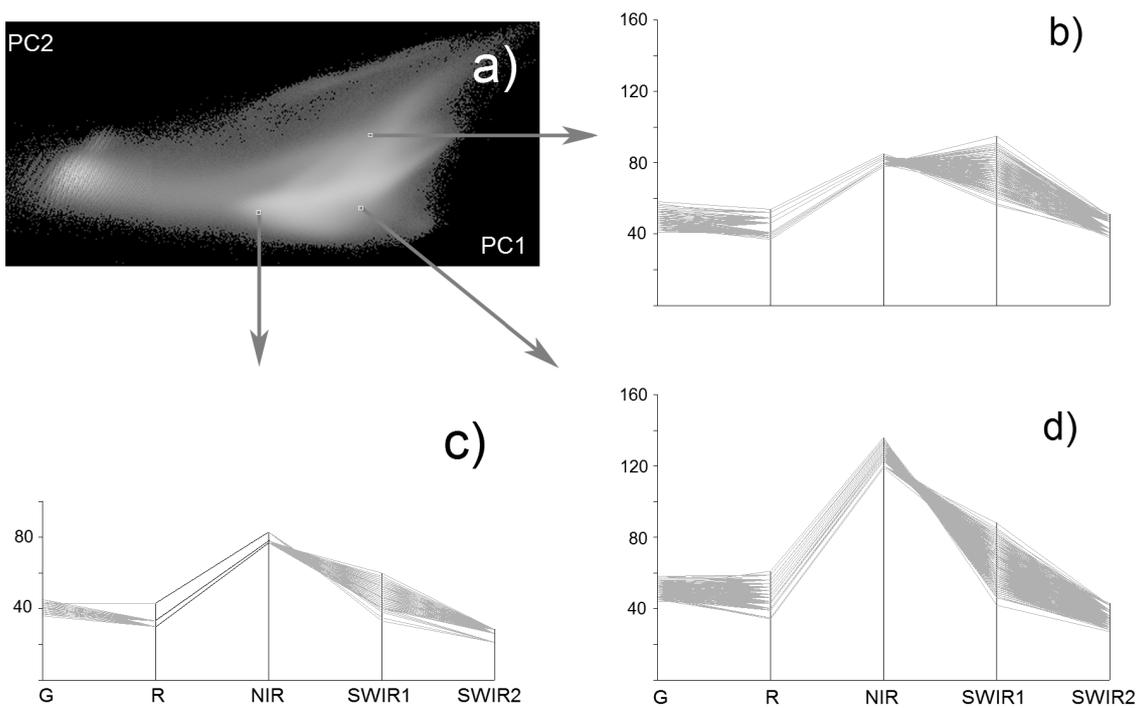


Рис. 4. Логарифмированное СП (а) и сигнатуры отдельных точек (b, c, d)

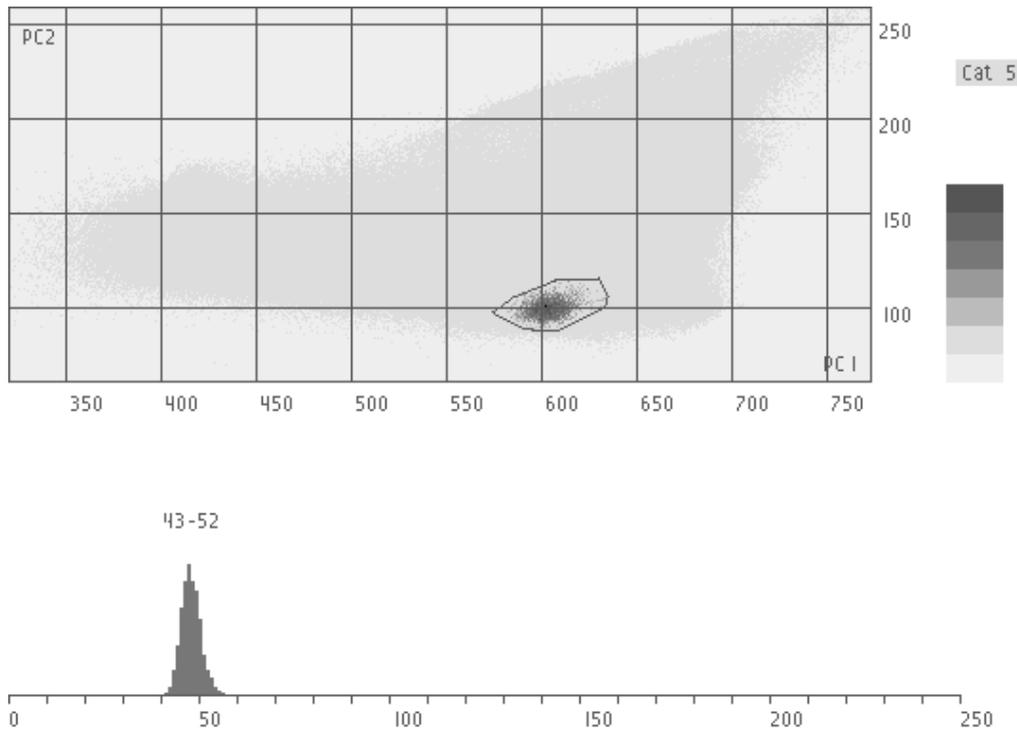


Рис. 5. Вид растрового файла, формируемого модулем создания модели СП. Вверху – поле распределения сигнатур категории в осях PC1 и PC2 и полигон основания призмы, внизу – гистограмма MSI (призма категории 5 на рис. 6)

Модуль работает в двух режимах: 1) создания модели СП и 2) собственно классификации. Для работы модуля необходимы растровые файлы компонент PC1 и PC2, файл индекса MSI и файл ключевых участков.

В первом режиме работы модуля при считывании значений PC1, PC2 и MSI для каждой категории ключевого участка создается поле распределения сигнатур в осях PC1 и PC2, и гистограмма значений MSI, которые сохраняются в виде растрового файла *catN.bmp*, где N – номер категории ключевого участка (рис. 5).

Растр позиционирован в координатах PC1-PC2, привязка записывается в соответствующий файл *brw* (координаты верхнего левого угла растра равны минимальному значению 1-й компоненты (x) и максимальному – второй (y), размер пиксела равен единице). «Ширина» и «высота» поля распределения равны интервалам значений компонент от минимума до максимума. Так как логарифмированные значения компонент обычно не превышают 10, для зрительного увеличения пространства (размера поля распределения в пикселах) применяется коэффициент (50–150). Создается также растр поля распределения всех сигнатур снимка *cat0.bmp*, на растрах категорий его очертания показаны серым фоном.

Одновременно создается общий для всех категорий ключевых участков векторный файл полигонов (*shape*-файл ESRI), огибающих точки растра СП с частотой встречаемости выше заданной (ГИС-оператор *convex hull*), посредством чего отсекаются внешние пологие участки колокола распределения. Атрибутивная информация полигонов – номер категории ключевого участка и интервал значений индекса MSI – сохраняется в файле *dbf*, создается также соответствующий индексный файл *shx*. Данный набор файлов и представляет собой векторное представление модели СП снимка, он может вводиться в любой ГИС-пакет для анализа и редактирования, или же сразу использоваться для классификации. Таким образом, каждая категория земной поверхности представлена в модели в виде призматической области СП, в которой основания призмы описываются полигонами векторного файла, а ее высота и положение в оси MSI – атрибутивными значениями полигона (рис. 6).

В режиме классификации сначала векторный файл преобразуется в 8-битовый 3D-растр модели СП, в котором область (призма) каждой категории образована байтами, значения которых соответствуют номеру категории. Затем при считывании из файлов значений PC1, PC2 и MSI (x, y, z) пикселу растра результата

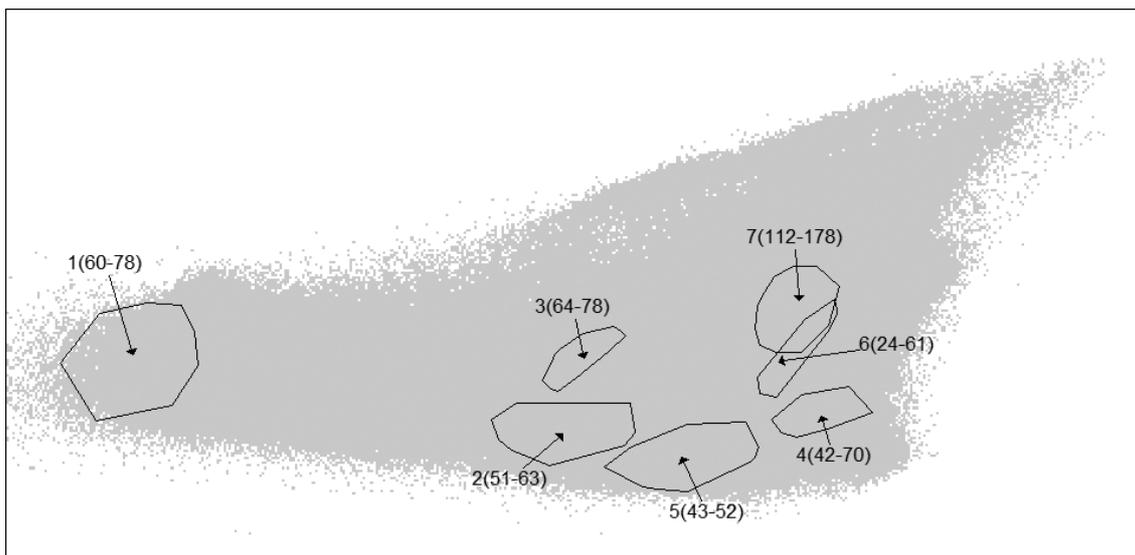


Рис. 6. Отображение векторного файла модели СП. Цифрами обозначены номера категорий и в скобках – интервалы значений MSI. Категории, пересекающиеся в проекции на плоскость осей компонент, разделяются по положению в оси MSI

классификации (формат 8-битовый RAW) присваивается значение байта модели СП, находящемуся в соответствующих координатах 3D-растра. Таким образом, данный способ классификации близок к известному методу параллелепипедов, но призма более точно ограничивает положение категорий в СП.

Растровые файлы, необходимые для работы модуля, могут быть созданы любым из вышеупомянутых пакетов обработки данных ДЗ. Модуль тестировался в комплексе со свободно распространяемым пакетом Quantum GIS (<http://qgis.org>), который включает векторную ГИС (упрощенный аналог ArcMap ESRI), а также растровый пакет GRASS, содержащий широкий набор модулей анализа геоинформации (но лишь один модуль для управляемой классификации – методом максимального подобия). В векторной ГИС создается *shape*-файл полигонов ключевых участков и производится анализ и при необходимости редактирование файла модели СП. Файлы компонент создаются модулем GRASS **i.pca**, файл MSI – модулем **r.mapcalc**, растр ключевых участков – модулем **v.to.rast** из *shape*-файла их полигонов.

Модуль имеет 10 параметров запуска. Первый – режим работы: 1 – создание модели СП, 2 – классификация. Второй параметр зависит от режима, в первом – это имя файла ключевых участков, во втором – имя *shape*-файла модели СП. Остальные восемь параметров одинаковы в обоих режимах. Это имена файлов компонент с соответствующими интервалами их значений (min-max), имя фай-

ла MSI, число рядов и колонок растра. Интервалы компонент и размер растра можно получить, используя модуль **r.info**. Все файлы должны иметь одинаковую размерность по числу рядов и колонок растра.

ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматриваемый комплексный метод классификации сканерных снимков, основанный на моделировании СП, включает три основных составляющих:

- способ трансформации СП;
- способ выделения областей СП;
- принцип работы с моделью СП (методика создания геоинформационной модели).

Применение для построения модели СП стандартного метода сокращения размерностей – компонентного анализа – не дает удовлетворительных результатов. Визуальный анализ структуры гиперэллипсоида снимка, проецированного на плоскость осей двух первых компонент, показал, что сигнатуры упорядочены, в первую очередь, по уровню ближнего инфракрасного канала, что не дает возможности четко определить физический смысл явно выраженного третьего измерения СП. Кроме того, более «яркие» категории (болота, луга, вырубки) занимают большее место, чем «темные» лесные, что не соответствует степени их реальной гетерогенности.

Для выравнивания размеров различных по яркости областей СП было применено логарифмическое преобразование.

рифмирование значений сигнатур, и оказалось, что при этом пространство структурируется таким образом, что его третья размерность становится четко определенной – это индекс стресса влажности. Таким образом, трансформация СП для построения модели заключается в расчете двух первых главных компонент логарифмированной матрицы снимка и индекса влажности в качестве третьей размерности.

Физический смысл осей данной трансформации, таким образом, близок к таковому у классической трансформации Tasseled Cap – brightness, greenness, wetness (яркость, «зеленость», влажность) [Kauth, Thomas, 1976]. Точнее, в логарифмированном пространстве компонент «зеленость» (относительное количество фотосинтезирующей биомассы) увеличивается примерно по диагонали, от его верхнего левого угла к нижнему правому, однако для разделения сигнатур в пространстве это принципиального значения не имеет. СП в трансформации Tasseled Cap также упорядочено по значениям и NDVI, и MSI, однако она была разработана для классификации сельскохозяйственных культур и поэтому, напротив, еще более увеличивает размер соответствующей области (категория 5 на рис. 2), что совершенно нецелесообразно при классификации таежных экосистем, где, наоборот, в первую очередь, нужно максимально «развернуть» лесную область.

При данной трансформации визуализация областей СП в виде поля распределения в осях PC1 и PC2 и гистограммы MSI (см. рис. 5) дает возможность оценивать качество подбора ключевых участков – большой разброс точек поля и растянутая гистограмма свидетельствуют о том, что ключевой участок в действительности включает несколько различных категорий.

Построение модели СП в виде призм, описываемых share-файлом, в автоматическом или ручном режиме, обеспечивает достаточно удобное, наглядное и свободное управление классификацией. Она перестает быть односторонней – от ключевых участков ко всему снимку. Принципиальное отличие от традиционного подхода заключается в том, что по модели СП можно оценить степень представленности категорий ключевых участков (свободные места на рис. 6) и, сформировав соответствующую призму, узнать, где территориально расположены категории, для которых на данном этапе нет наземных данных. Этим обеспечивается эффективный механизм

обратной связи при подборе ключевых участков.

Становится также возможной интерполяция промежуточных характеристик: логично предположить, что в промежутке СП между сегментами с известными свойствами будут располагаться области переходных зон (экотонов). В стандартных пакетах анализа ландшафтной структуры (например, модули пакета GRASS с общим префиксом **r.le** экотон рассматривается как линейный объект, а при использовании модели появляется возможность исследования экотонов как полигональных объектов без закладки соответствующих ключевых участков. Таким образом, классификация становится в полном смысле управляемой.

Данные возможности определяют и методику создания геоинформационной модели. Вместо разовой акции она превращается в постепенный исследовательский процесс выяснения соответствия между областями СП и наземными данными. Схема классификации перестает быть наперед заданной, а формируется и уточняется в процессе моделирования СП, иными словами, модель и представляет собой схему классификации. Меняется также роль выборочной оценки достоверности – она становится не конечным, а промежуточным этапом постепенного формирования геоинформационной модели.

Так, нередко в процессе создания модели достаточно обширной территории анализ наземных данных показывает, что одну и ту же область СП вследствие ограниченной разрешающей способности сканера занимают весьма различные по некоторым параметрам категории. Количество и структура фотосинтезирующей биомассы, ее влагообеспеченность – основные факторы, определяющие форму сигнатуры – в данных категориях практически одинаковы. Соответственно, исчерпаны и возможности для математической дифференциации категорий по положению в СП.

Практически идентичны по форме сигнатуры некоторых участков болот и старых вырубок с кустарниковой растительностью. Следует отметить, что для некоторых задач – например, при оценке запаса фитомассы в данный момент времени, эти категории могут совпадать, но с точки зрения структурно-функциональной организации это принципиально различные категории. Дифференциацию этих категорий в данном случае можно осуществить известным методом использования разновременных снимков. Если в прошлом в данном месте был лес, то

данная категория является вырубкой, если же она остается неопределенной, следует рассмотреть траекторию ее движения в СП. Изменения сигнатур болот в основном имеют сезонный характер, в зависимости от температурного режима и осадков. Динамика сигнатур вырубок принципиально иная. После рубки исходная форма сигнатуры (см. рис. 1) резко изменяется – значение красного канала становится больше, чем зеленого, так как фотосинтезирующая биомасса практически отсутствует, возрастают и уровни всех каналов, поскольку нет поглощения лесным пологом. С появлением растительности форма сигнатуры начинает приближаться к исходной, но уровни всех каналов остаются высокими, с течением времени постепенно уменьшаясь. Эти изменения обуславливают и соответствующий дрейф вырубки в СП – сигнатура сначала выходит за пределы «растительной» области (категория 2 на рис. 2), оказывается в области номер 6, и затем медленно возвращается обратно, проходя при этом на стадии «старая вырубка» область, занимаемую также некоторыми участками болот (категория 4 на рис. 2). Следовательно, если на разновременных снимках наблюдаются небольшие колебания положения участка «неопределенной» категории в СП – то это болото, если же сигнатура медленно перемещается по описанной выше траектории – участок является вырубкой. Таким образом одновременно и выявляется динамика растительного покрова, и детализируется его структура.

Одинаковы также сигнатуры некоторых типов низкополотных сосняков и ельников. Объясняется это тем, что сканер регистрирует интегральное отражение пиксела площадью несколько сотен квадратных метров, и в случае редкого древостоя большую роль играет отражение и от напочвенного покрова, нивелирующего отражение от крон. В этом случае разновременные данные бесполезны, декомпозиция может проводиться путем привлечения данных радарной съемки и цифровых моделей высот (используется экологическая приуроченность различных типов леса к формам рельефа). В перспективе представляется очень эффективным использование данных лидарной съемки [Данилин и др., 2005], позволяющей получить не только детальную модель рельефа, но и данные об архитектонике древесного полога, однако рассмотрение этих вопросов выходит за рамки данной статьи.

Таким образом, при создании геоинформационной модели необходимо исследование технических возможностей конкретного сканера

для выявления различных категорий на конкретной территории, и метод моделирования СП является инструментом решения этой задачи.

И последнее – по порядку, но не по значимости. Назначение геоинформационной модели – служить структурной основой для построения комплексной структурно-функциональной *newline* модели биосферы, и метод классификации, основанный на моделировании СП, предоставляет необходимую для моделирования возможность простого математического описания качественных характеристик категорий посредством локализации их положения по координатам спектрального пространства [Литинский, 2007].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный метод предназначен для создания геоинформационной модели таежных территорий на основе информации наиболее распространенных в настоящее время космических сканеров Landsat TM/ETM+ и аналогичных, и ориентирован на извлечение максимума информации о структуре и динамике наземных экосистем с учетом ограничений, накладываемых пространственным и спектральным разрешением этих приборов. В основе метода – построение 3D-модели СП сканерного снимка, которая позволяет целенаправленно подойти к подбору ключевых участков (составлению схемы классификации) и выявить области СП с неоднозначным биологическим содержанием.

Для создания модели предлагается способ трансформации СП методом главных компонент для логарифмированной матрицы снимка. Третья размерность – индекс влажности MSI. Данная трансформация более оптимальна для таежных экосистем по сравнению с классической трансформацией Tasseled Cap.

Процесс классификации включает следующие стадии:

1. логарифмирование матрицы снимка;
2. создание растровых файлов двух главных компонент, индекса MSI и ключевых участков;
3. формирование векторного файла модели СП, его анализ и редактирование;
4. классификация по модели СП.

Для реализации стадий 3 и 4, не включенных в стандартные пакеты обработки данных ДЗ, разработана соответствующая программа (свид. о гос. регистрации № 2011613929 от 20.05.2011).

Однако классификация снимка – лишь первый, хотя и самый важный этап создания геоинформационной модели. Информация ска-

нирования дает наиболее генерализованные классы растительного покрова, которые невозможно получить с помощью любых других систем ДЗ. Но в различных типах ландшафта одну и ту же область СП могут занимать категории с весьма различными экологическими характеристиками. Декомпозиция неоднородных сегментов может проводиться путем анализа траекторий категорий на разновременных снимках, с использованием модели рельефа и данных других систем ДЗ (радаров, лидаров), анализа текстуры и контекста, что и обозначает направления дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Горышина Т. К. Экология растений. М.: Высш. школа, 1979. 368 с.

Данилин И. М., Медведев Е. М., Мельников С. Р. Лазерная локация Земли и леса.: Учеб. пособие. Красноярск.: Институт леса им. Сукачева. 2005. 182 с.

Еришов Д. В., Барталев С. А. Использование метода декомпозиции спектральных смесей при обработке многоспектральных спутниковых изображений в решении задач мониторинга лесов // Материалы второго Всерос. совещ. «Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве». М., 1998. С. 118–119.

Замятин А. В. Анализ динамики ландшафтного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. 2006. № 6 С. 50–64.

Литинский П. Ю. Оценка динамики деградации лесов в зоне воздействия выбросов Костомукшского ГОКа дистанционными методами // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1996. С. 182–192.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Литинский Петр Юрьевич
старший научный сотрудник
Институт леса КарНЦ РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: litinsky@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 768160

Литинский П. Ю. Ландшафтно-экологическая ГИС Восточной Финноскандии // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 5. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 100–107.

Литинский П. Ю. Трехмерное моделирование структуры и динамики таежных ландшафтов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 107 с.

Пузаченко Ю. Г., Алещенко Г. М., Молчанов Г. С., Пузаченко А. Ю. Анализ аэрофотоизображения для выделения типов территориальных структур // Материалы второго Всерос. совещ. «Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве». М., 1998. С. 156–159.

Шталлов А. В., Журинов В. М., Сухих В. И. и др. Анализ информативности космических снимков высокого разрешения QuickBird // Международный конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве». М., 2007. С. 168–174.

Kauth R. J., Thomas G. S. The Tasseled Cap—a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat // Proceedings on the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 4b: 41–51, 6 June – 2 July 1976 (West Lafayette, Indiana: LARS, Purdue University).

Richards J. A., Xiuping Jia. Remote Sensing Digital Image Analysis. Berlin, Springer, 1999. 400 p.

Rock B., Williams D., Vogelman J. Field and airborne spectral characterization of suspected acid deposition damage in red spruce (*Picea rubens*) from Vermont. Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, Indiana, 1985. P. 71–81.

Sabins Floyd F., Jr. Remote Sensing Principles and Interpretation. New York: W. H. Freeman & Co, 1987. 449 p.

Tucker C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combination for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment, 1979. Vol. 8. P. 127–150.

Litinsky, Peter
Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia,
Russia
e-mail: litinsky@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 768160