

РАСПОЗНАВАНИЕ ФОРМАЦИЙ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С БЛИЗКИМИ СПЕКТРАЛЬНО-ЯРКОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПО ДАННЫМ СЪЕМКИ СО СПУТНИКА LANDSAT 7 ETM+

Н. В. Гопп

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: gopp@issa.nsc.ru

Е. А. Куликова, И. А. Пестунов, Ю. Н. Синявский,

В. В. Смирнов

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: pestunov@ict.nsc.ru, valentin@sbras.ru

Applicability of automatic classification algorithms (clusterization) for decomposition of the forest vegetation formations with close spectral-brightness characteristics using Landsat 7 ETM+ data is considered.

Введение

При решении задач, связанных с анализом и распознаванием данных дистанционного зондирования (ДДЗ), в большинстве случаев отсутствует не только априорная информация о вероятностных характеристиках классов, но и классифицированная обучающая выборка. Естественный выход из этой ситуации — применение алгоритмов автоматической классификации [1, 2]. Однако кластеризация ДДЗ без предварительной обработки зачастую приводит к неудовлетворительным результатам при разделении природных объектов с близкими спектрально-яркостными характеристиками, так как выбор параметров, позволяющих разделить эти классы, ведет к чрезмерной раздробленности полученной картосхемы.

В работе представлена методика автоматизированной обработки данных спутниковой съемки, позволяющая успешно решать подобные задачи. Методика прошла апробацию при исследовании лесной растительности Болотнинского района Новосибирской области по данным съемки со спутника Landsat 7 ETM+.

1. Методика исследования

Предлагаемая процедура обработки изображения начинается с пороговой сегментации по нормализованному вегетационному индексу

$$\text{NDVI} = \frac{I_{ir} - I_r}{I_{ir} + I_r},$$

где I_{ir} , I_r — значения сигналов, регистрируемые соответственно в 3-м и 4-м каналах. Для более наглядного представления гистограммы, значения вегетационного индекса преобразуются к интервалу $[0, 255]$. Пороговые величины для отсеечения непокрытых растительностью территорий (водная поверхность, минерализованные участки, постройки и т. п.) определяются пользователем в диалоговом режиме на основе визуального анализа гистограммы значений NDVI. Затем производится линейное растяжение динамических диапазонов значений спектральных признаков на весь допустимый диапазон $[0, 255]$.

После сегментации для всех возможных наборов признаков вычисляется значение OIF (Optimum Index Factor) [3]:

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{i \in S} \sigma(i)}{\sum_{i \in S} \left(\sum_{j \in S, j > i} |r(i, j)| \right)},$$

где S — набор каналов; $\sigma(i)$ — среднее квадратичное отклонение значений спектральных яркостей для i -го канала; $r(i, j)$ — коэффициент корреляции значений спектральных яркостей между i -м и j -м каналами.

Затем определяются наборы признаков с наибольшими значениями OIF. Среди них на основе анализа спектральных откликов растительности определяется набор признаков, наиболее подходящий для решения конкретной задачи. Таким образом находится набор слабо коррелированных и информативных признаков.

Полученный набор признаков используется для автоматической классификации изображения при помощи непараметрического алгоритма ССА [4].

2. Объект исследования

Исследовались формации растительности Болотнинского района Новосибирской области. Этот район имеет сложное геологическое и тектоническое строение и находится в зоне сочленения мегаструктур разной геодинамической природы Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой области [5]. Изучаемый район ограничен $83^{\circ}49'53''$ и $84^{\circ}29'7''$ в.д. и $55^{\circ}58'42''$ и $55^{\circ}52'42''$ с.ш. Прямоугольниками выделены ключевые участки с координатами $83^{\circ}50'43''$ – $83^{\circ}55'20''$ в.д., $55^{\circ}54'45''$ – $55^{\circ}53'15''$ с.ш. и $84^{\circ}23'7''$ – $84^{\circ}28'3''$ в.д., $55^{\circ}59'23''$ – $55^{\circ}57'26''$ с.ш.

Исследуемая территория находится на стыке двух геоморфологических районов. Большая ее часть относится к долине реки Оби, меньшая — к Сокурскому геоморфологическому району. Долина реки Оби выражена четырьмя надпойменными террасами, которые высоко подняты над современной поймой и тянутся полосой вдоль Оби, достигая на отдельных участках совокупной ширины в несколько десятков километров. Растительный покров изучаемой территории неоднороден и образован разными типами

растительности, характерными для южно-таежной подзоны, лесостепной зоны, а также интразональной растительности долины реки Оби.

Южно-таежная подзона представлена незначительно и занимает северо-восточные участки изучаемой территории. В основном это темнохвойные южно-таежные травяно-зеленомошные леса (пихта, кедр, ель).

На надпойменных террасах реки Оби расположены крупные болотные массивы, представленные травяными низинными болотами (тростниковыми, осоковыми). По периферии болот распространены заболоченные луга. Сосновые боры занимают древние террасы правого берега Оби и ее крупных притоков. Среди них встречаются сосновые травяные и травяно-кустарничковые (брусничные, черничные) леса.

3. Результаты и обсуждение

Обработке подвергался фрагмент многозонального снимка Landsat 7 ETM+ с пространственным разрешением 30 м, полученного 1 августа 1999 года и прошедшего радиометрическую и геометрическую коррекции (рис. 1). Для дешифрирования фрагмента использовались данные наземных маршрутных наблюдений на ключевых участках, собранные с помощью системы глобального позиционирования (GPS).

На рис. 2 представлены картосхемы, полученные методом визуально-инструментального дешифрирования выделенных ключевых участков. С помощью этих картосхем по данным многозонального снимка были сформированы обучающие выборки для представленных типов лесной растительности во всех семи спектральных диапазонах. В результате анализа спектрально-яркостных характеристик лесной растительности, построенных по найденным обучающим выборкам, установлено, что различные формации

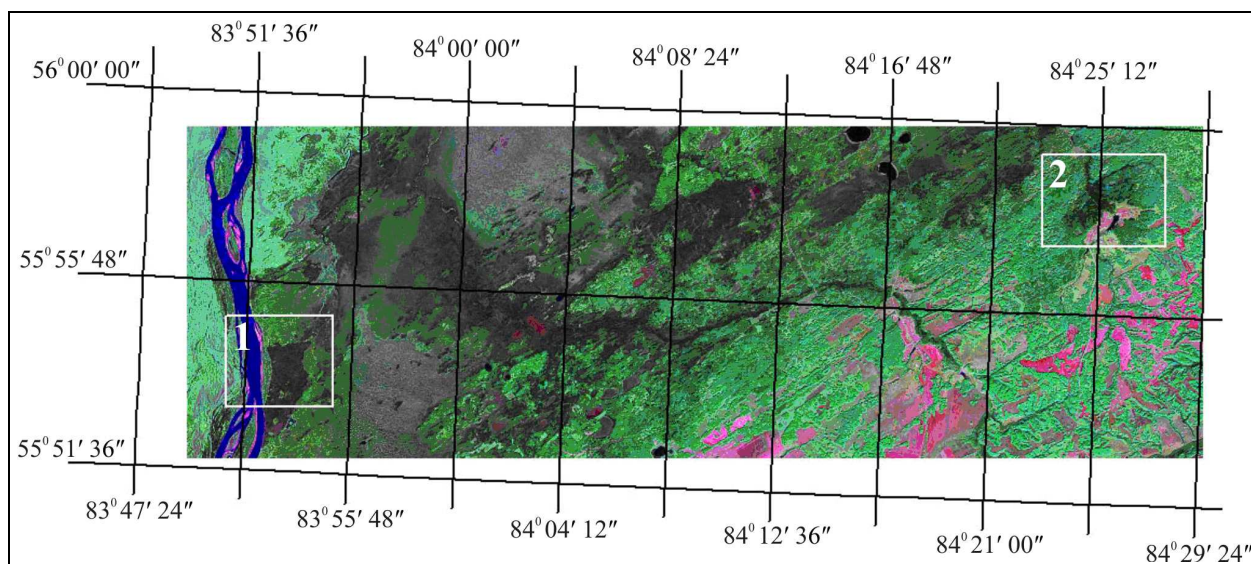


Рис. 1. Фрагмент изображения, полученного по данным Landsat 7 ETM+, с нанесенной географической координатной сеткой; прямоугольниками выделены ключевые участки, содержащие формации растительности с близкими спектрально-яркостными характеристиками: 1 — ключевой участок в долине реки Оби с сосновым лесом, эдификатором служит сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*); 2 — ключевой участок в южно-таежной подзоне с темнохвойными лесами, эдификаторы: пихта (*Abies sibirica*), ель (*Picea obovata*), кедр (*Pinus sibirica*)

растительности имеют высокую спектральную селективность. Исключением являются темнохвойные (пихта, кедр, ель) и сосновые (травяные и травяно-кустарничковые) леса, имеющие близкие характеристики (рис. 3). Указанная особенность существенно усложняет разделение этих типов леса без предварительной обработки снимка и выбора информативных признаков.

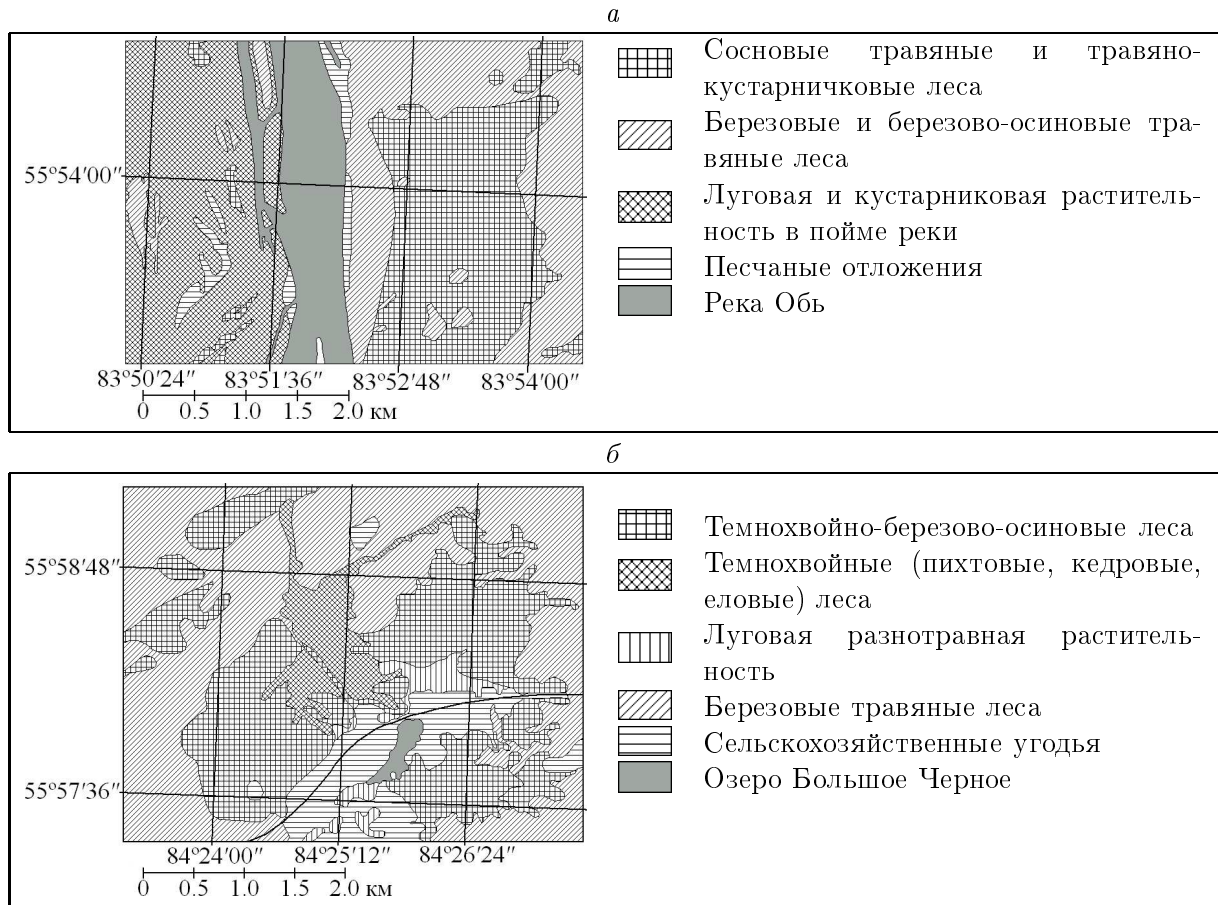


Рис. 2. Картосхемы участков 1 и 2 (а и б соответственно), полученные на основе визуально-инструментального дешифрирования снимка Landsat 7 ETM+

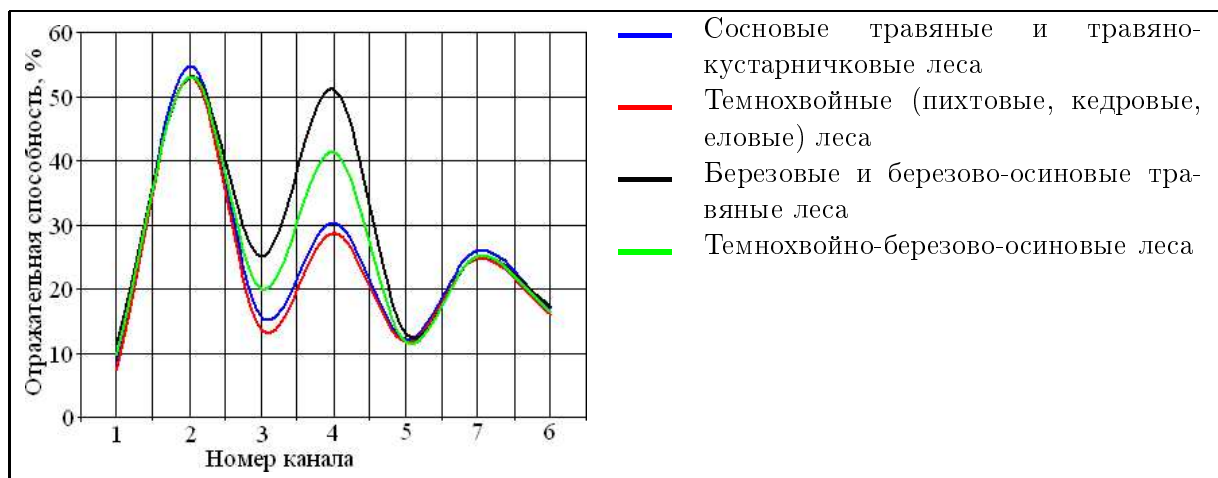


Рис. 3. Характеристики спектрального отклика лесной растительности

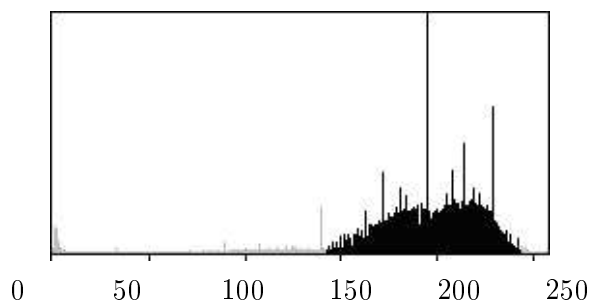


Рис. 4. Гистограмма значений вегетационного индекса

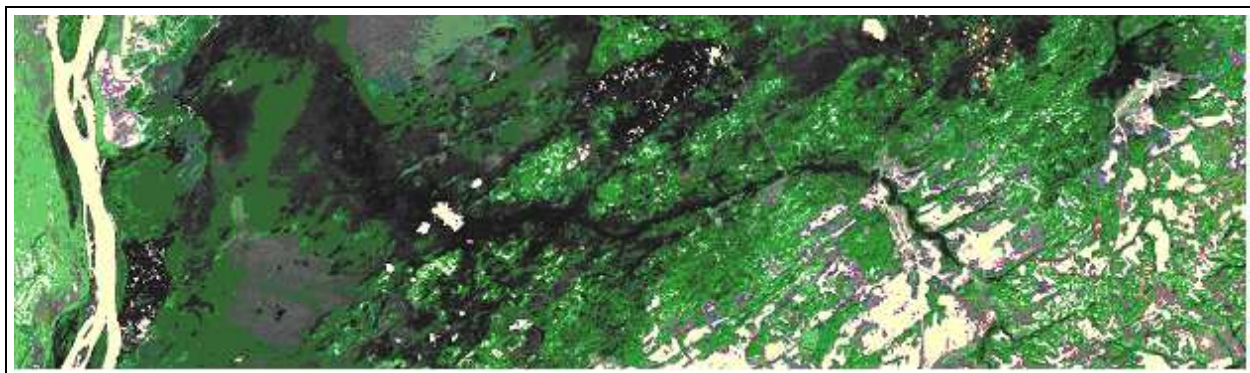


Рис. 5. Результаты пороговой сегментации по вегетационному индексу

В соответствии с предложенной методикой была построена гистограмма значений вегетационного индекса (рис. 4) и произведена сегментация изображения с пороговыми значениями 140 и 240 (рис. 5). Это позволило снизить влияние не покрытых растительностью территорий (на рис. 5 изображены белым цветом) при определении информативных признаков с помощью величины OIF.

В таблице представлены значения OIF для различных наборов признаков, вычисленные по сегментированному изображению. Анализ спектральных характеристик (см. рис. 3) показывает, что для разделения темнохвойных и сосновых травяных лесов каналы 1 и 2 малоинформативны, а канал 3 значительно информативнее, чем канал 7. По этой причине среди наборов с наибольшим значением OIF для классификации выбран набор признаков {3, 4, 5}.

По выбранным признакам проводилась обработка исследуемого фрагмента с помощью алгоритмов СА (рис. 6) и ISODATA, реализованного в пакете ERDAS Imagine (рис. 7). На рис. 8 и 9 показано, что результаты автоматической классификации хорошо согласуются с результатами визуально-инструментального дешифрирования.

Значения OIF для различных наборов из трех признаков

Набор признаков	Величина OIF	Набор признаков	Величина OIF	Набор признаков	Величина OIF	Набор признаков	Величина OIF
{1, 4, 5}	29.7	{1, 2, 4}	25.4	{1, 2, 5}	22.6	{1, 2, 7}	16.2
{1, 4, 7}	27.1	{1, 3, 4}	25.1	{1, 5, 7}	19.5	{3, 5, 7}	15.2
{2, 4, 5}	26.8	{2, 4, 7}	24.1	{1, 3, 5}	18.7	{1, 3, 7}	14.9
{4, 5, 7}	26.2	{3, 4, 7}	23.0	{2, 5, 7}	16.7	{1, 2, 3}	14.7
{3, 4, 5}	26.1	{2, 3, 4}	22.7	{2, 3, 5}	16.2	{2, 3, 7}	12.6

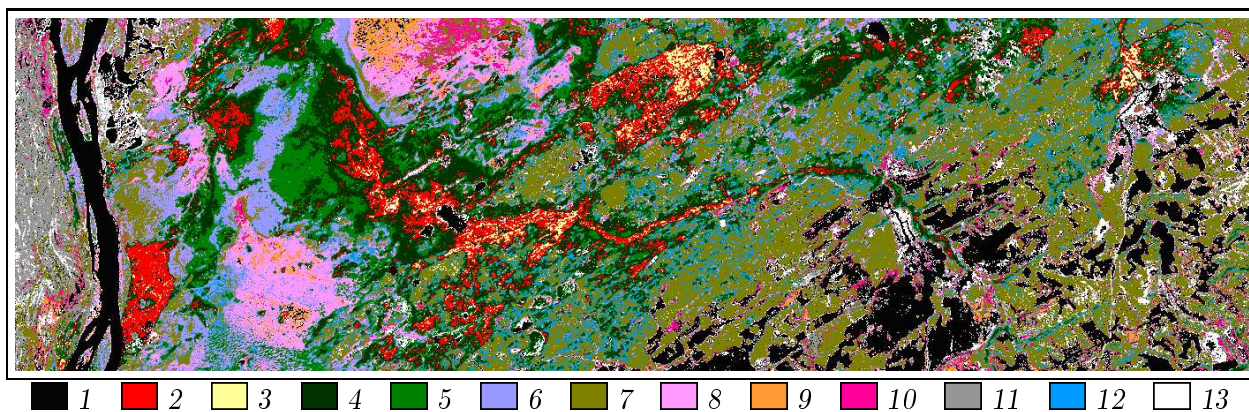


Рис. 6. Результаты классификации алгоритмом ССА: 1 — территории, исключенные из обработки; 2 — сосновые травяные и травяно-кустарниковые леса; 3 — темнохвойные (пихта, ель, кедр) леса; 4 — смешанные темнохвойно-березово-осиновые леса; 5 — редкостойные темнохвойно-березовые местами заболоченные леса; 6 — разнотравные заболоченные луга; 7 — березовые травяные леса; 8 — травяные низинные болота; 9 — травяно-моховые низинные болота; 10 — редкостойные березовые леса на переходных болотах; 11 — пойменная лугово-кустарниковая растительность; 12 — лугово-разнотравная растительность; 13 — мелкие классы (суммарной площадью менее 0.4 % от изображения)

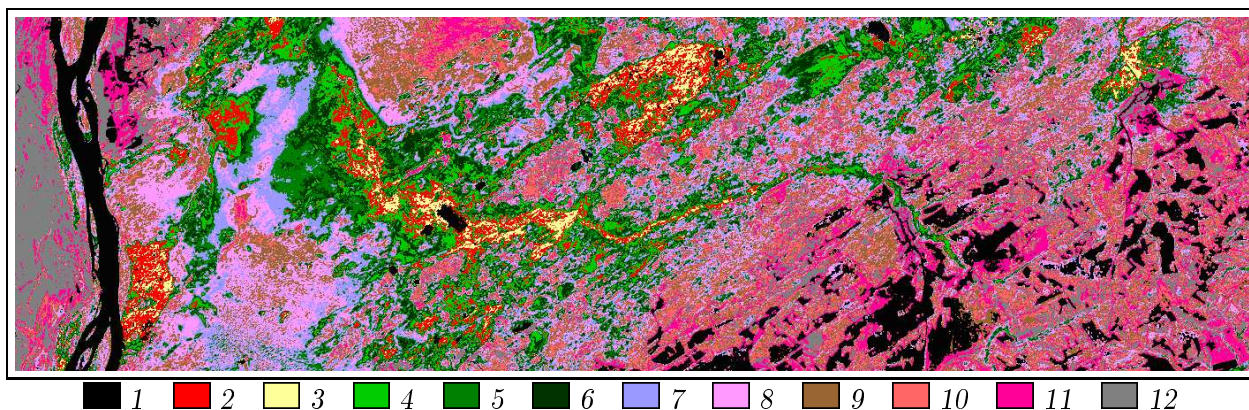


Рис. 7. Результаты классификации алгоритмом ISODATA: 1 — территории, исключенные из обработки; 2 — сосновые травяные и травяно-кустарниковые леса; 3 — темнохвойные (пихта, ель, кедр) леса; 4 — смешанные темнохвойно-березово-осиновые леса; 5 — местами заболоченные темнохвойно-березовые леса; 6 — редкостойные темнохвойно-березовые леса; 7 — разнотравные заболоченные луга; 8* — травяные низинные болота; 9* — травяно-моховые низинные болота; 10* — березовые травяные леса; 11* — редкостойные березовые леса на переходных болотах; 12 — пойменная лугово-кустарниковая растительность

* Формации растительности, для которых не удалось получить удовлетворительное разделение

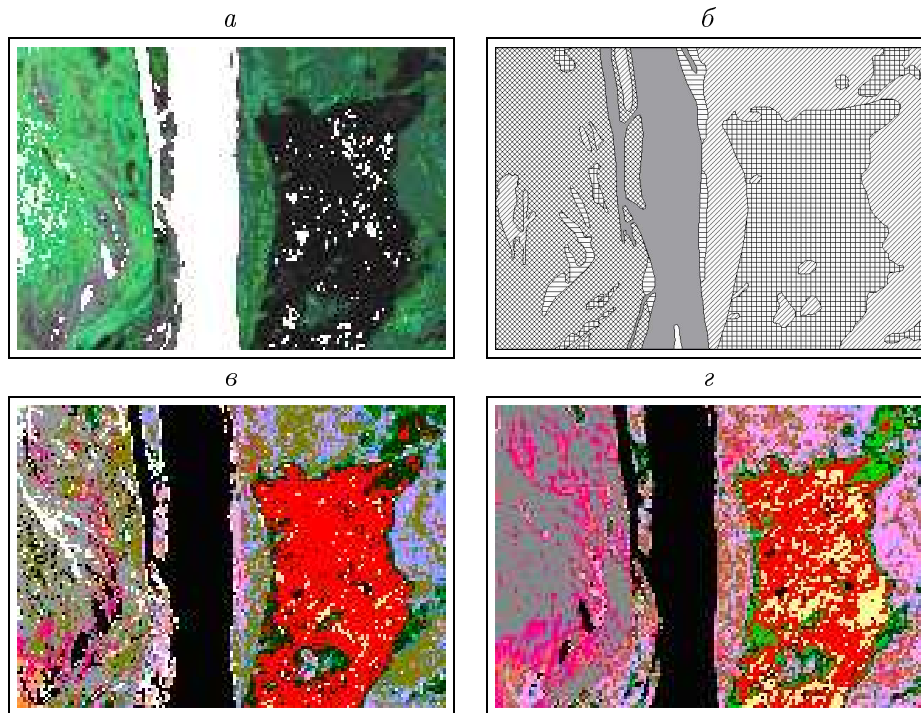


Рис. 8. Ключевой участок 1: фрагмент исходного изображения после пороговой сегментации (а), результаты визуально-инструментального дешифрирования (б) и результаты классификации с помощью алгоритмов ССА (в) и ISODATA (г)

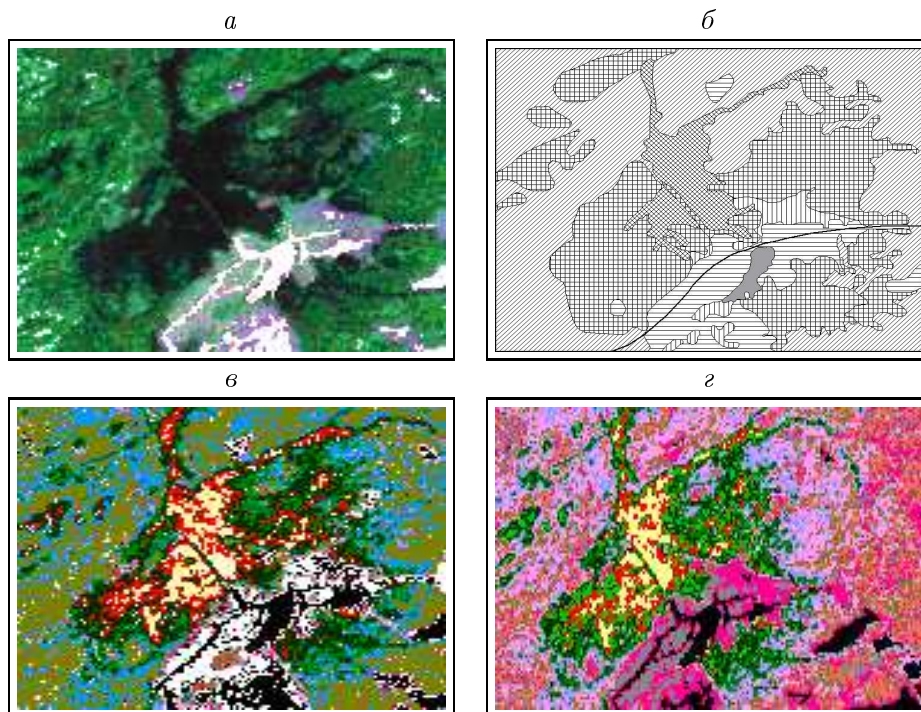


Рис. 9. Ключевой участок 2: фрагмент исходного изображения после пороговой сегментации (а), результаты визуально-инструментального дешифрирования (б) и результаты классификации с помощью алгоритмов ССА (в) и ISODATA (г)

Заключение

Проведенные исследования показывают, что применение распространенного алгоритма ISODATA, а также непараметрического алгоритма ССА непосредственно к изображению не позволяет разделить формации растительности, близкие по спектрально-яркостным характеристикам. Предварительная обработка изображения позволила улучшить результаты классификации с помощью алгоритма ISODATA. Однако и в этом случае не произошло полного разделения изучаемых формаций растительности. Предложенная методика на основе алгоритма ССА позволила разделить темнохвойные (пихта, кедр, ель) и сосновые (травяные и травяно-кустарничковые) леса. Результаты этого алгоритма характеризуются хорошей проработкой мелких деталей изображения, которые зачастую не выделяются при использовании алгоритма ISODATA.

Исследование формаций растительности Болотнинского района Новосибирской области позволяет заключить, что результаты обработки хорошо согласуются с результатами визуально-инструментального дешифрирования.

Список литературы

- [1] MERCER D.P. Clustering Large Datasets. Linacre College, 2003.
<http://www.stats.ox.ac.uk/mercer/documents/Transfer.pdf>
- [2] SCHOWENGERDT R.A. Remote sensing, models and methods for image processing / 2nd ed. Acad. Press, 1997. 522 p.
- [3] CHAVEZ P.S., BERLIN G.L., SOWERS L.B. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios // J. of Applied Photographic Engineering. 1984. Vol. 8. P. 23–30.
- [4] ПЕСТУНОВ И.А., БУДКИНА Е.А., СИНЯВСКИЙ Ю.Н. Алгоритм кластеризации много-спектральных изображений на основе формирования сеточной структуры в пространстве признаков // Труды Международной конференции “Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании”. Павлодар, 2006. Т. 2. С. 124–131.
- [5] Свиридов В.Г., Краснов В.И., Сурков В.С. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. 1: Геологическое строение. МПР РФ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. 228 с.

Поступила в редакцию 30 августа 2007 г.