

Оценка возможностей дешифрирования лесообразующих пород по космическим снимкам IKONOS

В.М. Жирин, С.В. Князева

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН)

117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

E-mails: basil@cepl.rssi.ru, knsv@cepl.rssi.ru

Представлены результаты экспериментального исследования по изучению возможностей дешифрирования лесообразующих пород по снимкам сверх высокого разрешения IKONOS на примере территории национального парка «Лосиный остров». Классификации с обучением методом максимального правдоподобия позволяет распознавать обобщенные группы лиственных и хвойных насаждений с точностью более 80% и рассчитывать коэффициенты состава лиственных и хвойных насаждений в границах выдела с точностью до 2 единиц. Применение производных изображений позволяет повысить достоверность распознавания отдельных пород деревьев, но не улучшает дешифрирование обобщенных групп лиственных и хвойных насаждений.

Ключевые слова: лесообразующие породы, коэффициенты состава насаждения выдела, хвойные и лиственные насаждения, космические снимки высокого пространственного разрешения, классификация методом максимального правдоподобия, текстурные характеристики, производные изображения, достоверность распознавания классов.

Введение

Космические снимки сверх высокого пространственного разрешения, к которым относятся снимки со спутника IKONOS, по своим изобразительным свойствам приближаются к производственным масштабам аэрофотосъемки – 1:10 000 – 20 000. Особенно это касается цветных синтезированных снимков, полученных в результате синергизма (слияния) панхроматического изображения высокого разрешения и мультиспектрального изображения более низкого разрешения. Возможности применения космических снимков сверх высокого разрешения в практике лесоустройства требуют детального исследования дешифровочных признаков объектов, достоверности их распознавания и способов классификации.

Экспериментальные работы

Эксперимент по изучению возможностей дешифрирования лесообразующих пород по снимкам сверх высокого разрешения IKONOS проведен на примере территории национального парка (НП) «Лосиный остров». Космический снимок IKONOS получен 12 июня 2004 г. в 4-х спектральных диапазонах с пространственным разрешением 4 м и в панхроматическом диапазоне с разрешением 1 м. Изображения предоставлены компанией «Совзонд». Лесной массив НП «Лосиный остров» (площадью 12,4 тыс. га), расположенный в городской черте Москвы и примыкающей части Московской области, входит в зону смешанных лесов. Из-за воздействия на лесной массив многочисленных неблагоприятных факторов среды, а также проведения в течение продолжительного периода разнообразных и не всегда успешных лесоводственных мероприятий, для лесного покрова Лосиногостовского острова характерна сложная мозаичность древесного полога, связанная с возрастной и породной структурой лесонасаждений. Средняя площадь современных выделов составила 1,9 га.

Трансформирование снимка IKONOS и создание обучающих эталонов

На первом этапе эксперимента проведено трансформирование снимка в проекцию картографических лесоустроительных данных. Предварительно, программными средствами продукта ScanEx Image Processor v. 2.0 синтезировано цветное изображение IKONOS из 3-х зональных изображений в диапазонах 0.52-0.61, 0.64-0.72 и 0.77-0.88 мкм и, затем, проведен синергизм панхроматического и цветного синтезированного изображения, в результате которого получено цветное многозональное изображение с разрешением 1 м. Средняя квадратическая ошибка трансформирования составила 1-3 пиксела исходного изображения. Точность совмещения неодинакова для разных частей изображения, что связано, прежде всего, с точностью создания картографических материалов лесоустройства (рис. 1).



Рис. 1. Трансформированный снимок IKONOS, совмещенный с контурами лесоустроительных выделов

С целью выявления изменений в пологе насаждений за период, прошедший со времени лесоустройства 1992 г. по 2004 г., проведен визуальный анализ снимка IKONOS, предваряющий компьютерную классификацию. Изображение IKONOS 2004г. сравнивалось с оцифрованными среднemasштабными аэрофотоснимками 1992 г. В результате визуального дешифрирования в пяти выделах обнаружены изменения, связанные с вывалом деревьев после ураганных ветров летом 1998 г. и последующими санитарными рубками. В дальнейшем эти выделы были исключены и не участвовали в создании спектральных эталонов для автоматизированного дешифрирования.

Для формирования обучающих эталонов все выделы таксационной базы данных были распределены на группы по участию преобладающей древесной породы в составе насаждений. Репрезентативные выборки с коэффициентом участия не менее 9-10 единиц в составе насаждений и полнотой более 0,6 сделаны для четырех основных пород – березы, липы, сосны и ели. Помимо насаждений были созданы выборки для различных категорий земель: травянистой растительности (прогалины и поляны), болот, участков с открытой почвой, водных объектов. Полученные выбор-

ки, в свою очередь, разделялись на две подгруппы – обучающие и контрольные данные, которые использовались для компьютерной классификации породного состава насаждений и проверки достоверности распознавания классов. Спектральная делимость классов обучающих выборок оценивалась по графикам средних значений спектральных яркостей сигнатур эталонов и по гистограмме яркости эталона в каждой спектральной зоне.

Классификация с обучением

На следующем этапе проводилась классификация с обучением по спектральным зонам снимка и ряду производных изображений, полученных в результате обработки исходного снимка IKONOS, т. е., так называемая, гибридная классификация [1]. Цель подобной классификации состояла в следующем: дешифрирование зональных изображений позволит оценить информативность исходных дистанционных данных, а привлечение производных изображений должно способствовать улучшению результатов распознавания классов. В качестве производных изображений использованы изображения главных компонент, вегетационного индекса NDVI и текстурных характеристик. Преобразование по методу главных компонент позволяет сжать информацию и выявить объекты с небольшими размерами и малым контрастом; значения вегетационного индекса NDVI характеризуют количество фитомассы и сомкнутость растительного покрова; использование связи текстуры изображения растительности на снимке с ее пространственными характеристиками на местности позволяет повысить детальность и достоверность классификации.

Классификация с обучением проведена программными средствами пакета Idrisi 2.0 с использованием двух алгоритмов - способа максимального правдоподобия и способа минимальных расстояний – в 5-ти вариантах:

- I) по 4-м спектральным зонам снимка;
- II) по 4-м спектральным зонам и изображению вегетационного индекса NDVI;
- III) по 3-м главным компонентам и 4-м текстурным изображениям (R, H, D, F);
- IV) по 4-м спектральным зонам и 3-м текстурным изображениям (R, D, F);
- V) по 4-м спектральным зонам, изображению вегетационного индекса NDVI и 2-м текстурным изображениям (R, F).

Текстурные характеристики

Для определения показателей текстуры изображения рассчитывались следующие характеристики (при размере скользящего окна 3 × 3 пиксела):

- а) относительное богатство (R)

$$R = n/n_{max} * 100,$$

где n = число разных классов в скользящем окне,
n_{max} = максимальное число классов, заданное пользователем;

- б) разнообразие (H)

$$H = -\sum(p * \ln(p)),$$

где sum = сумма по всем классам, p = доля класса в скользящем окне,
ln = натуральный логарифм;

- в) коэффициент доминирования (D)

$$D = H_{max} - H,$$

где H = Разнообразию, H_{max} = Максимальное разнообразие = ln(n),
n = число разных классов в скользящем окне, ln = натуральный логарифм;

- г) фрактальная величина, рассчитанная как коэффициент преобразования (F)

$$F = \frac{\tan(85) \left(\frac{w_x \max - w_x \min}{cols} \right) (unit_distance)}{Dn}$$

где ix_{max} = максимум x в системе координат снимка, ix_{min} = минимум x в системе координат снимка, $cols$ = число колонок снимка, Dn = максимально возможное значение яркости (255 или 32767)

где n = число разных классов в скользящем окне, c = число рассматриваемых ячеек (9, 25 или 49) [2].

Оценка достоверности результатов классификации

Оценка достоверности классификации по контрольным данным приведена в таблице 1.

Таблица 1. Достоверность классификации лесного покрова, выполненной различными алгоритмами по космическому многозональному снимку IKONOS

Классы	Доля правильно распознанных классов (%)									
	метод максимального правдоподобия					метод минимального расстояния				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Береза	58	66	55	62	74	66	65	50	63	68
Липа	41	38	40	36	29	26	30	38	28	30
Сосна	38	42	23	33	42	26	32	33	27	33
Ель	79	70	79	78	70	73	73	62	65	70
Травянистая растительность	93	96	87	93	95	63	93	85	68	83
Болота	92	93	89	93	92	71	88	83	70	83
Почва	96	98	94	95	97	95	94	92	93	96
Водные объекты	97	99	96	98	99	98	98	96	98	99

Наилучшие результаты распознавания классов получены методом максимального правдоподобия, причем заметна тенденция, что при использовании только исходных зон снимка (I вариант) и при дополнительном использовании текстурных изображений (IV вариант) лучше распознаются еловые насаждения, а при добавлении к зональным изображениям индекса NDVI (II вариант) увеличивается достоверность выделения березовых насаждений. В варианте, когда в классификации принимают участие зональные изображения и производные изображения, участие NDVI сильнее влияет на результат классификации, чем текстурные характеристики. Для классов «липа» и «сосна» достоверность распознавания составляет менее 50 % во всех вариантах. Классы не покрытых лесом и нелесных земель хорошо разделяются во всех вариантах классификации: достоверность распознавания более 90 %.

Для оценки распознавания групп хвойных и лиственных насаждений классы «береза» и «липа» объединены в класс «лиственные насаждения», а классы «сосна» и «ель» - в класс «хвойные насаждения», и, затем, рассчитаны достоверности классификации объединенных классов (табл. 2). Изображение результатов дешифрирования объединенных классов хвойных и лиственных насаждений представлено на рис. 2.

Таблица 2. Достоверность классификации обобщенных групп хвойных и лиственных насаждений, выполненной различными алгоритмами по космическому многозональному снимку IKONOS

Классы	Доля правильно распознанных классов (%)									
	метод максимального правдоподобия					метод минимального расстояния				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Хвойные	85	81	80	84	81	74	79	72	73	78
Лиственные	85	89	79	83	88	81	78	74	78	84



Рис. 2. Изображение результатов дешифрирования классов хвойных и лиственных насаждений, совмещенное с контурами лесоучастий

Лучший результат распознавания объединенных классов получен при классификации методом максимального правдоподобия исходных зон снимка – достоверность распознавания 85%. Привлечение текстурных характеристик несколько понижает достоверность классификации (III вариант). Использование дополнительного изображения индекса NDVI увеличивает распознавание лиственных насаждений до 89%, но снижает распознавание класса «хвойные насаждения» до 81%.

Расчет коэффициентов состава хвойных и лиственных насаждений в границах выделов

В целях анализа достоверности выделения смешанных насаждений рассчитан коэффициент состава хвойных и лиственных насаждений в границах выделов по результатам классификации методом максимального правдоподобия, и проведено сравнение полученных коэффициентов с коэффициентами состава хвойных и лиственных насаждений, рассчитанных по таксационным данным. По данным 2000 лесоучастий создана матрица соответствия и на ее основе построена гистограмма распределения отклонения определения коэффициента участия хвойных, рассчитанных по результатам компьютерной классификации и по данным таксационной базы (рис. 3).

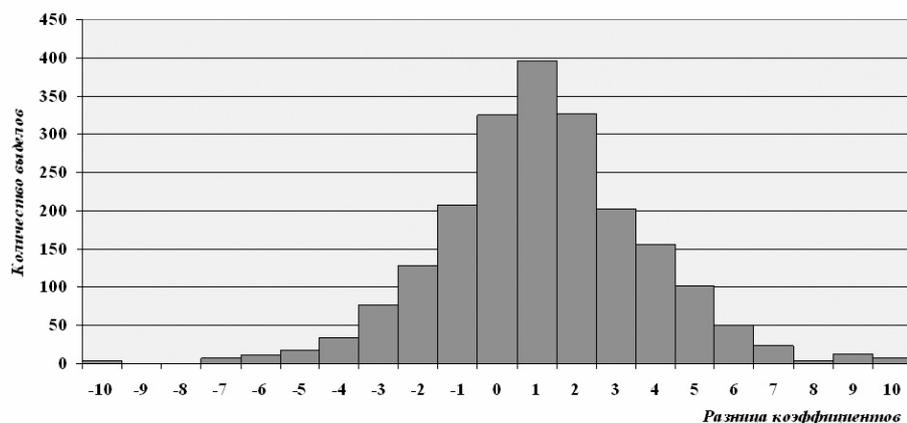


Рис. 3. Гистограмма распределения отклонения коэффициентов хвойных пород в составе насаждений, определенных по результатам компьютерной классификации, от коэффициентов, рассчитанных по таксационной базе данных

Средняя ошибка определения коэффициентов хвойных пород составила 1,14 единиц состава насаждений. То есть, при классификации снимка IKONOS происходит систематическое завышение количества хвойных насаждений, которое выражается в увеличении в среднем на 1 единицу значения коэффициента хвойных пород в составе насаждений выдела. Подобная тенденция может быть вызвана тем обстоятельством, что при проведении лесоустроительных работ для контурного дешифрирования выделов применялись цветные аэрофотоснимки, полученные в видимом диапазоне спектра, на которых меньше видно различий между хвойными и лиственными насаждениями из-за отсутствия ИК-диапазона.

В качестве примера в табл. 3 приведены коэффициенты состава хвойных насаждений для ряда компактно расположенных выделов одного квартала.

Таблица 3. Коэффициенты хвойных пород деревьев в составе насаждений выдела, рассчитанные по таксационной базе и по результатам классификации

<i>Идентификационный код выдела</i>	<i>Коэффициент хвойных пород деревьев в составе насаждений выдела по таксационной базе</i>	<i>Коэффициент хвойных пород деревьев в составе насаждений выдела, рассчитанный по результатам классификации</i>
3172005	8	7
3172002	8	6
3181004	7	1
3174002	7	6
3183006	5	3
3181002	5	4
3174006	5	5
3174003	4	5
3181001	3	2
3183008	2	4
3183002	2	2
3174004	2	3
3174001	2	2
3172004	2	3
3172001	2	3
3183007	1	2
3183004	1	1
3181010	1	1
3172003	1	2
3183005	0	1
3183001	0	2
3181009	0	1
3181008	0	2
3181007	0	0
3181006	0	1
3181005	0	1

Как видно из таблицы, коэффициенты хвойных пород в составе насаждений выделов различаются не более чем на 1-2 единицы. Исключение составляет один выдел (выделенный в таблице жирным шрифтом), где разница коэффициентов равна 6. В данном конкретном случае столь большую ошибку в определении коэффициента можно объяснить тем, что выдел имеет маленькую площадь и пересечен пешеходной дорожкой, что в совокупности влияет на точность распознавания.

Следует заметить, что рассчитанный по изображению классификации снимка IKONOS коэффициент состава хвойных насаждений отражает, так называемый, «дешифровочный» состав по-

род верхнего древесного полога, который зависит от проекции, размеров и сомкнутости крон деревьев различных пород, тогда как состав пород в таксационной базе рассчитывается по запасу насаждений 1-го яруса и не учитывает при малой сомкнутости крон этого яруса насаждения других ярусов, кроны которых могут быть отражены на снимке. Поэтому полного соответствия коэффициентов состава хвойных и лиственных пород деревьев, рассчитанных разными способами (при помощи наземной таксации и при помощи компьютерной классификации снимка) не может быть для сложных по составу, многоярусных насаждений, особенно небольшой площади. На точность расчета коэффициентов состава насаждений влияют также ошибки трансформирования космического снимка и ошибки контурного дешифрирования выделов по аэроснимкам, что приводит к смещению контурной сети выделов относительно изображений, и, как следствие, к ошибочным расчетам коэффициентов состава внутри границ смещенных выделов.

Заключение

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что для дешифрирования отдельных пород чистых насаждений, компактно расположенных на территории и занимающих достаточно большие площади, использование производных изображений позволяет повысить достоверность их выделения, но при дешифрировании обобщенных групп хвойных и лиственных насаждений использование дополнительных производных характеристик нецелесообразно. При соблюдении ряда условий (точное совмещение дистанционных и лесостроительных данных, достаточно большие по площади выдела – более 0,5 га, использование для сравнения состава насаждений дешифровочного состава верхнего полога) точность определения коэффициентов состава хвойных и лиственных пород деревьев лесостроительного выдела по результатам компьютерной классификации снимка IKONOS алгоритмом максимального правдоподобия составляет более 80%.

Литература

1. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2004. 336 с.
2. User Guide IDRISI for Windows Version 2.0. IDRISI Production, Clark University, Worcester, USA, 1997.

Estimation of the possibilities of forest forming species recognition on the base of IKONOS space images

V. Zhirin, S. Knyazeva

Centre of Forest Ecology and Productivity Problems, Moscow, RAS

The results of experiment on the study of the main species recognition possibilities of IKONOS high resolution images was carried out on the example of the National Park “Losinyi ostrov” are represented. Supervised classification by the method of maximum likelihood makes possible to recognize the generalized groups of deciduous and coniferous stands with the accuracy of more than 80% and to calculate the composition coefficients of the deciduous and coniferous stands in the range of the taxation site with accuracy to 2 units. The application of derived images makes it possible to increase the recognition certainty of the separate tree species, but does not improve deciphering the generalized groups of deciduous and coniferous stands.

Keywords: the forest forming species, the stand composition coefficients of the taxation site, coniferous and deciduous stands, the high spatial resolution space images, classification by the method of maximum likelihood, textural characteristics, derived images, the recognition certainty of classes.