



Научный центр аэрокосмических исследований Земли  
Национальная академия наук Украины

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ  
КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ  
РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА**

**М.А. Попов, С.А. Станкевич, А.А. Козлова**

e-mail: [pop@casre.kiev.ua](mailto:pop@casre.kiev.ua)

тел.: (380 44) 482 0166

Четвертая открытая всероссийская конференция

**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**

Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г.

- **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ТОЧНОСТЬ**

Для гарантированной пространственной погрешности конечного информационного продукта не более **70 м** требуется детальность аэрокосмических изображений на местности не хуже **35 м** при среднеквадратических погрешностях геопроецирования:

$$\sqrt{\Delta\bar{x}^2 + \Delta\bar{y}^2}$$

≤ 50 м – для космического снимка

≤ 15 м – для заверочных данных

# ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКИХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ (I)

Спутник	Высота орбиты, км	Оптико-электронная система	Спектральные диапазоны, мкм	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы обзора, км	Периодичность обзора, сутки
Landsat-7	705	ETM+	0,45 – 0,52	30	185	16
			0,52 – 0,60	30		
			0,63 – 0,69	30		
			0,75 – 0,90	30		
			1,55 – 1,75	30		
			10,4 – 12,5	60		
			2,08 – 2,35	30		
			0,52 – 0,90	15		
EOS-1	685	ASTER	0,52– 0,60	15	60	16
			0,63 – 0,69	15		
			0,76 – 0,86	15		
			1,60 – 1,70	30		
			2,145 – 2,185	30		
			2,185 – 2,225	30		
			2,235 – 2,285	30		
			2,295 – 2,365	30		
			2,360 – 2,430	30		
			8,125 – 8,475	90		
			8,475 – 8,825	90		
			8,925 – 9,275	90		
			10,25 – 10,95	90		
10,95 – 11,65	90					

## • ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКИХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ (II)

Спутник	Высота орбиты, км	Оптико-электронная система	Спектральные диапазоны, мкм	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы обзора, км	Периодичность обзора, сутки
Spot-4	832	HR VIR	0,50 – 0,59	20	117	26
			0,61 – 0,68	20		
			0,78 – 0,89	20		
			1,58 – 1,75	20		
			0,49 – 0,69	10		
IRS-1D	685	LISS-III	0,52 – 0,59	23,5	142	25
			0,62 – 0,68	23,5		
			0,77 – 0,86	23,5		
			1,55 – 1,75	70,5		
Метеор-3 М	1018	МСУ-Э	0,5-0,6	32	76	7
			0,6-0,7	32		
			0,8-0,9	32		
Сич-2	668	МС-2-8	0,50 – 0,59	7,8	46,6	4
			0,61 – 0,68	7,8		
			0,79 – 0,89	7,8		
			0,50 – 0,80	7,8		
			1,55 – 1,70	39,5		

# • КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

I

Накопление наземной информации о видовом составе растительности;  
Получение спектральных характеристик отдельных классов растений

II

Создание интегральных сигнатур классов растительного сообщества

III

Проведение классификации территории по видам растительности

- МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ (I)

Вероятность ошибочного отнесения  $\varepsilon_j$  многомерного оптического сигнала, который соответствует пикселу многоспектрального изображения, к классу  $j, j=1...m$  может быть оценена сверху как

$$\varepsilon_j = \exp(-b_j), \quad (1)$$

где

$$b_j = \frac{1}{8} \Delta E_j^T \times \left( \frac{\mathbf{Var}_j + \mathbf{diag} \mathbf{1}_n}{2} \right)^{-1} \times \Delta E_j + \frac{1}{2} \ln \frac{\det \mathbf{Var}_j + 1}{2\sqrt{\det \mathbf{Var}_j}} \quad (2)$$

– расстояние Бхаттария;

$\Delta E_j$  – вектор отклонений многоспектрального сигнала пиксела от вектора средних класса  $j$ ;

$\mathbf{Var}_j$  – ковариационная матрица сигналов класса  $j$ .

- МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ (II)

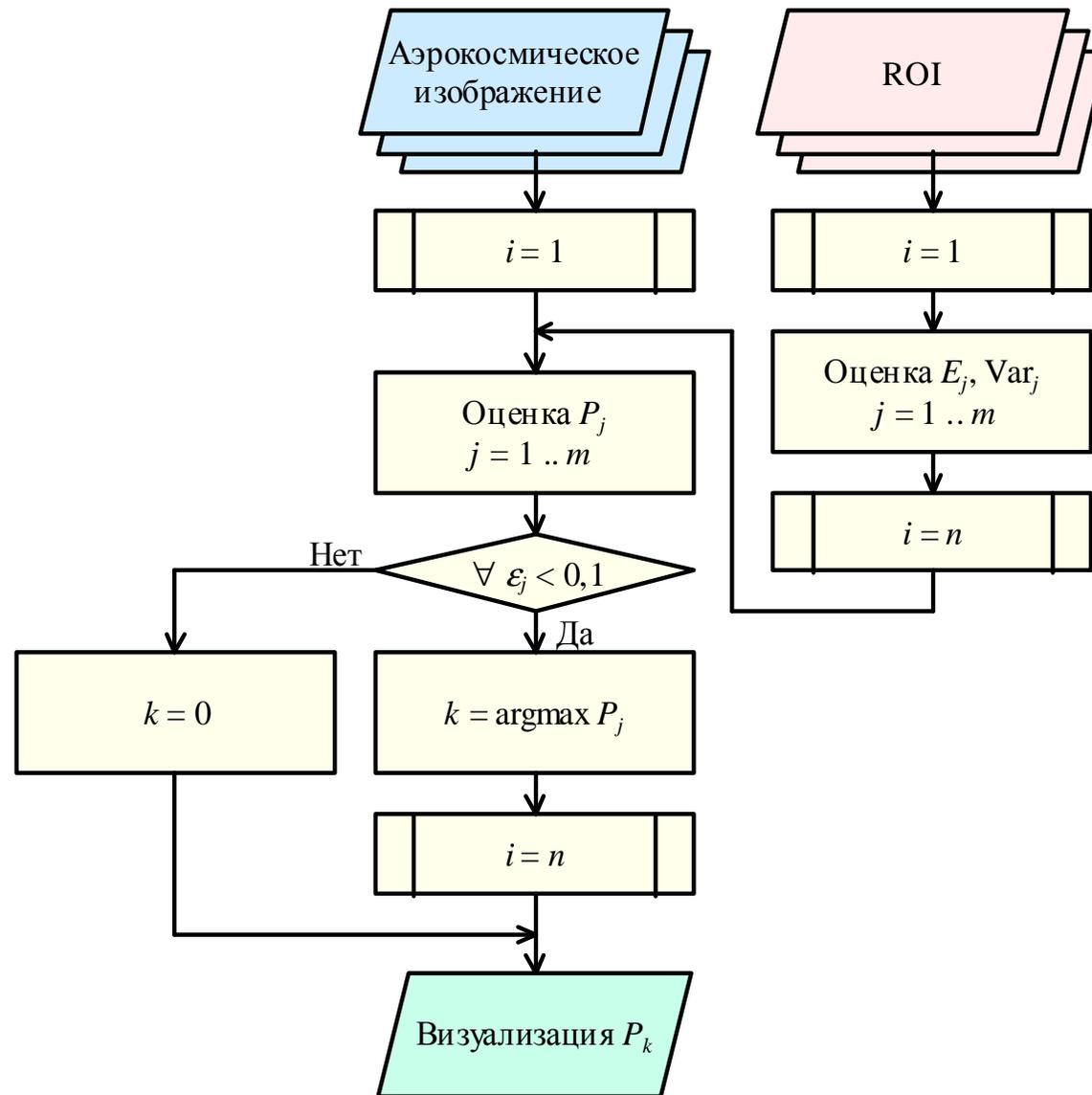
Априорная вероятность правильной классификации класса  $p_k$  для класса  $k$  будет  $1-\varepsilon_j$ , при этом апостериорная вероятность  $p_j$  отнесения пиксела к классу  $j$  составляет

$$p_k = \frac{1-\varepsilon_k}{\sum_{j=1}^m (1-\varepsilon_j)} . \quad (3)$$

Решение про принадлежность пиксела определенному классу принимается при условии максимума апостериорной вероятности (2) при соблюдении требования сепарабельности:

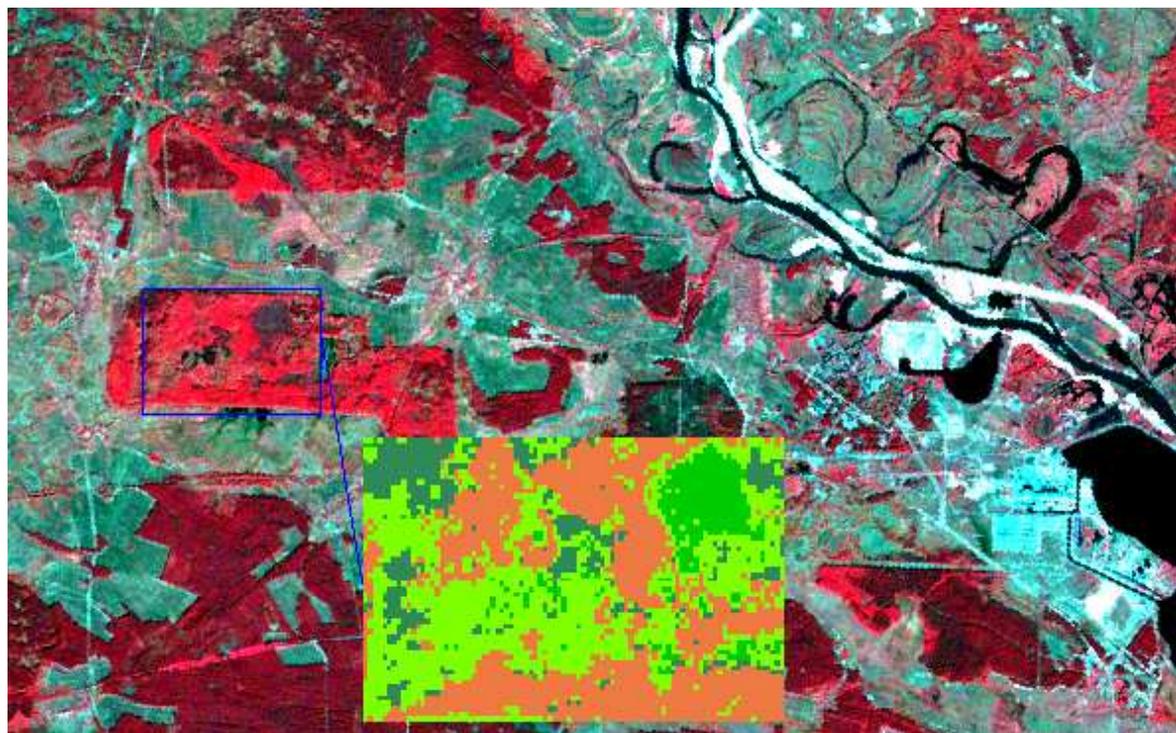
$$\varepsilon_j \leq 0,1 . \quad (4)$$

# • СХЕМА АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ



- ОЦЕНКА ВИДОВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Классификационный тематический растровый слой видового состава растительных сообществ территории исследования, полученный на основе многоспектрального космического снимка Landsat (02.10.1999) зоны отчуждения ЧАЭС



1.  2.  3.  4. 

Условные обозначения: 1 – сосна, 2 – дуб, 3 – береза, 4 – ольха

## • ПОВЫШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Определение интегральной спектральной характеристики объекта  $r^{(j)}$  в любом  $j$ -м спектральном диапазоне с длинами волн от  $\lambda^{(j)}$  до  $\lambda^{(j)} + \Delta\lambda^{(j)}$

$$r^{(j)} = \frac{1}{\Delta\lambda^{(j)}} \int_{\lambda^{(j)}}^{\lambda^{(j)} + \Delta\lambda^{(j)}} r(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

где  $r(\lambda)$  – известная спектральная характеристика отражения.

Радиометрическое значение сигнала  $E^{(j)}$  в  $j$ -м спектральном диапазоне

$$E^{(j)} = \alpha^{(j)} \cdot r^{(j)}, \quad (6)$$

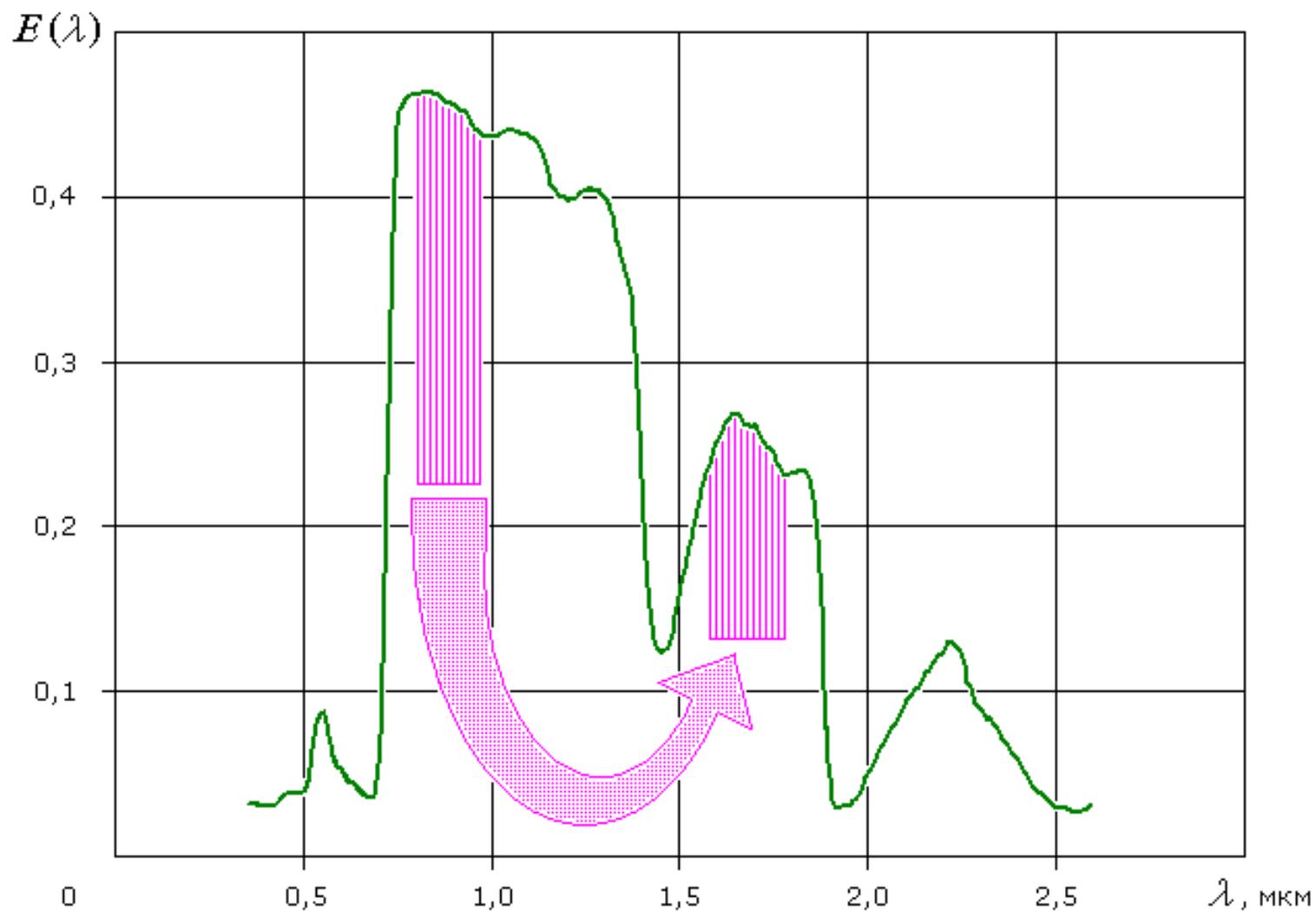
где  $\alpha^{(j)}$  – коэффициент передачи сенсора в  $j$ -м канале.

Ограничение

$$E^{(j)} = \frac{\alpha^{(j)}}{n^{(j)}} \sum_{i=1}^{n^{(j)}} r^{(j)}, \quad (7)$$

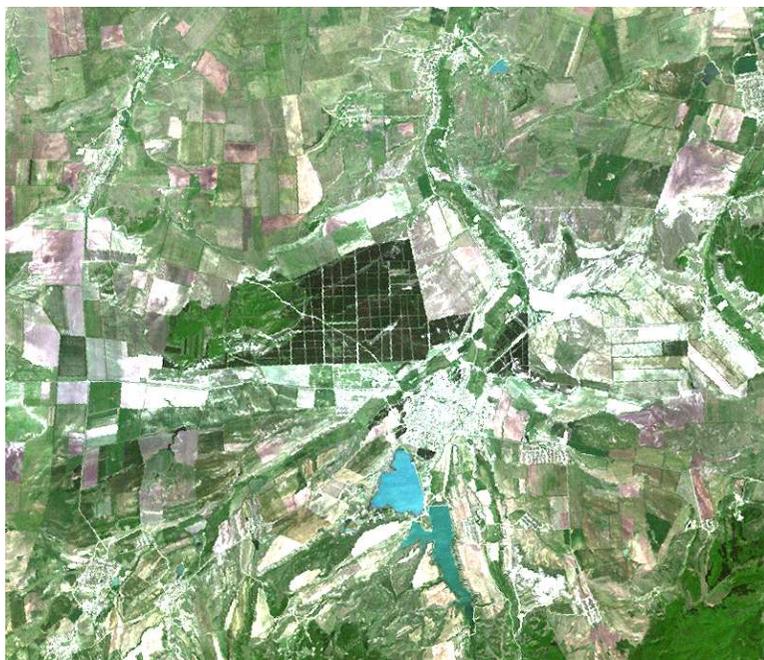
где  $n^{(j)}$  – количество элементов разрешения многоспектрального аэрокосмического изображения высокого разрешения, которые соответствуют одному элементу разрешения многоспектрального аэрокосмического изображения низкого разрешения.

- ПРИВЛЕЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРО ОБЪЕКТЫ СЦЕНЫ

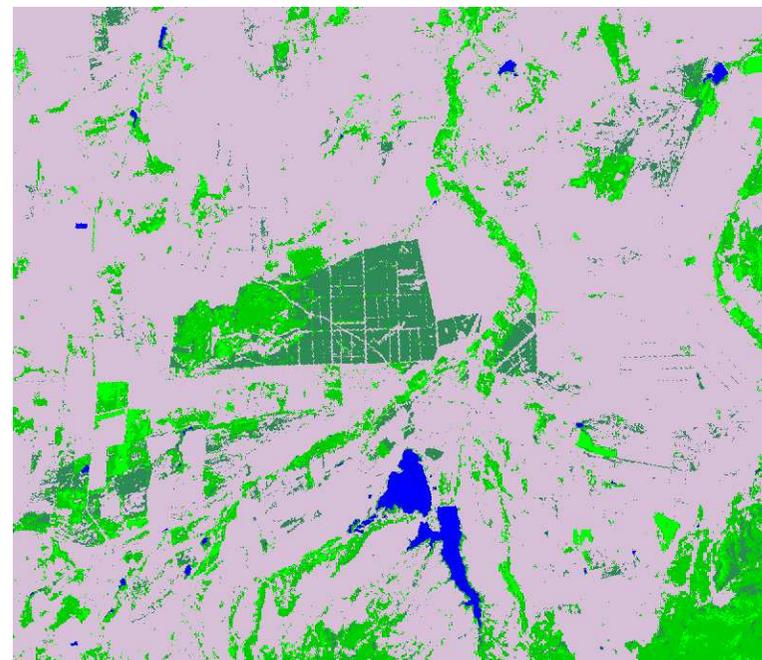


- УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ПРОЦЕДУРА КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Фрагмент многоспектрального космического снимка Landsat ETM+ (10.05.2000) в районе г. Белогорск АР Крым (а) и полученный на его основе тематический растровый слой растительного покрова (б)



а)



б)



**Условные обозначения:** 1 – хвойные породы, 2 – лиственные породы, 3 – фруктовые деревья, 4 – территории без леса, 5 - вода

# • КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Информационный индекс Шеннона

$$I = - \sum_{j=1}^m p_j \log_2 p_j , \quad (8)$$

где  $m$  – количество видов,  $p_j$  – значимость вида  $j$ .

Оценка количества пикселей  $n_k$  в классе  $k$

$$n_k = \sum_{i=1}^n p_i^{(k)} , \quad (9)$$

где  $p_i^{(k)}$  - апостериорная вероятность класса  $k$  в пикселе  $i$ . Ее можно оценить, используя байесовский подход, как

$$p_i^{(k)} = \frac{f_i^{(k)}}{\sum_{j=1}^m f_i^{(j)}} , \quad (10)$$

где  $f_i^{(j)}$  - функция принадлежности пикселя  $i$  классу  $j$ , получена по результатам работы алгоритма классификации.

Оценка общего количества пикселей по всем классам  $n$

$$n = \sum_{j=1}^m n_j . \quad (11)$$

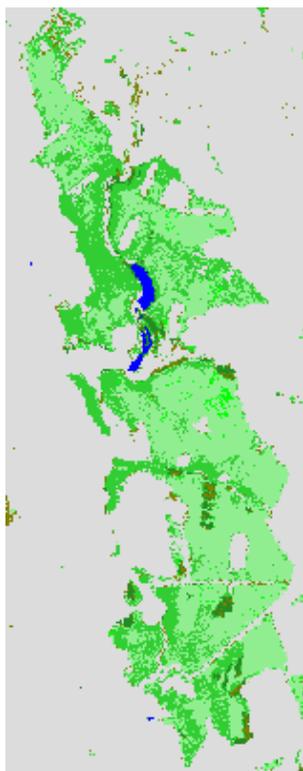
С учетом особенностей

$$I = \sum_{k=1}^m \frac{n_k}{n} \cdot \log_2 \frac{n_k}{n} \quad (12)$$

• ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ИНДЕКСА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ



а)



б)

Фрагмент многоспектрального космического снимка Landsat ETM+ (05.06.2000) на территорию Дунаевецкого района Хмельницкой области (а) и полученный на его основе классификационный тематический растровый слой видового состава высших сосудистых растений (б)



Условные обозначения: 1 – сосна, 2 – ель, 3 – дуб, 4 - береза, 5 – граб, 6 – безлесные территории, 7 – вода

Значимости видов исследуемой территории по результатам классификации на основе метода максимального правдоподобия (а) и с учетом особенностей распределения вероятностей (б)

№	Название вида	Значимость а)	Значимость б)	Относительное отклонение
1.	Сосна ( <i>Pinus sylvestris</i> )	0,0340394	0,0334447	- 0,0177816
2	Ель ( <i>Picea abies</i> )	0,0358128	0,0421514	0,1503770
3.	Дуб ( <i>Quercus robur</i> )	0,5541872	0,5232288	- 0,0591680
4.	Береза ( <i>Betula pendula</i> )	0,0159113	0,0373204	0,5736568
5.	Граб ( <i>Carpinus betulus</i> )	0,3600493	0,3638548	0,0104588

## • ВЫВОДЫ

1. Использование аэрокосмических изображений для оценки биоразнообразия предполагает учет некоторых особенностей: требований к аэрокосмическим изображениям для анализа разнообразия растительности, выбора алгоритма классификации растительного покрова, процедуры повышения пространственного разрешения аэрокосмических изображений, количественной оценки принадлежности данного пиксела аэрокосмического изображения каждому классу земной поверхности при расчете информационного индекса Шеннона;
2. Для анализа видового состава растительности наиболее информативными являются зональные космические изображения в зеленом, красном, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра. Дополнительные признаки могут быть получены при анализе изображений в дальнем инфракрасном (тепловом) диапазоне;
3. Предложен алгоритм классификации растительного покрова, основанный на метрике Бхатачария и байесовском классификаторе.
4. Предложена процедура повышения пространственного разрешения аэрокосмических изображений. Показано, что применение данной процедуры к снимкам Landsat ETM+ позволяет повысить точность классификации растительного покрова на 0,14-1,20% в расчете на один канал. Применение данной процедуры к снимкам невысокого пространственного разрешения обеспечивает повышение точности классификации на 5–15%.

## • ЛИТЕРАТУРА

1. *Malysheva N., Shvidenko A., Nilsson S., Petelina S., Oskog A.* An Overview of Remote Sensing in Russian Forestry // Interim Report IR-00-034 of the International Institute for Applied Systems Analysis. - Laxenburg: IIASA, 2000. - 90 p.
2. *Liang S.* Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces.- Hoboken: John Wiley, 2003. - 560 p.
3. *Сахацький О.І., Ходоровський А.Я., Левчик О.І., Станкевич С.А., Козлова А.О.* Оцінка видового різноманіття рослинного світу зон відчуження з використанням багатозональних космічних знімків // Збірник матеріалів науково-практичної конференції "Актуальні проблеми військової екології". - Київ: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2005, с. 65-75.
4. *Moreno J.F., Gonzalez M.-C., Alonso L., Hegarat-Masclé S.L., Alem F., Normand M.* Survey of Remote Sensing Data Analysis Methods / Report for European Research Project Aim Water by Contract ENV4-CT98-0740.- Valencia: CNRS/CETP, 1999. - 52 p.
5. *Landgrebe D.A.* Information Extraction Principles and Methods for Multispectral and Hyperspectral Image Data // Information Processing for Remote Sensing. - Hackensack: World Scientific Publishing, 2000. - 580 p.
6. *Станкевич С.А.* Статистичні моделі розділення класів об'єктів аерокосмічного моніторингу за цифровими зображеннями // Тези доповіді на науково-практичній конференції "Актуальні проблеми військової екології". - Київ: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2004, с. 76-80.
7. *Фукунага К.* Ведение в статистическую теорию распознавания образов. - М.: Наука, 1979. - 368 с.
8. *Toutin Th.* Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods // International Journal of Remote Sensing, 2004, Vol. 70, No 6, pp. 695-702.
9. *Попов М.О., Станкевич С.А., Козлова А.О.* Удосконалена процедура класифікування багатоспектральних аерокосмічних зображень при оцінюванні біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України // Тезиси докладов міжнародної научної конференції «Фундаментальні дослідження важливіших проблем естественних наук на основе интеграционных процессов в образовании и науке». Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. - С. 82-83.
10. *Протасов А. А.* Биоразнообразие и его оценка: Концептуальная диверсикология.- Киев: НАН Украины; Институт гидробиологии, 2002. - 107 с.
11. *Попов М.А., Лялько В.И., Подорван В.Н., Сахацкий А.И.* Методика классификации природных объектов на многоспектральных космических изображениях на основе последовательного слияния информации // Материалы Второй открытой Всероссийской научной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса".- М.: ИКИ РАН, 2004, с. 46-47.
12. *Станкевич С.А., Козлова А.О.* Особливості розрахунку індексу видового різноманіття Шеннона за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского, 2006, т. 19 (58), с. 144-150.