

## СЕЛЕКЦИЯ ОБЪЕКТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ НЕЧЕТКОМ ОПИСАНИИ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ

*Рассмотрена возможность применения теории нечетких множеств для решения задачи селекции объектов дистанционного зондирования Земли. Введено нечеткое описание характеристик рассеяния объектов зондирования с учетом их фрактальных свойств. На основе такого описания разработан метод селекции объектов дистанционного зондирования Земли. Метод селекции объектов дистанционного зондирования Земли предусматривает декомпозицию проблемы в иерархию, определение сравнительной важности показателей и бинарное сравнение важности объектов дистанционного зондирования Земли по каждой характеристике рассеяния.*

**Ключевые слова:** селекция объектов ДЗЗ, нечеткое описание, фрактальная размерность.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

На современном этапе развития средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) большой практический интерес представляют задачи оценки состояния подстилающей поверхности (оценка момента перехода поверхности из одного состояния в другое) и селекции антропогенных объектов на фоне подстилающей поверхности [1].

Задачу селекции можно сформулировать следующим образом [2]: при известных отличиях между распределениями значений признаков объектов различных классов и составе конкретной выборки объектов по измеренным значениям признаков всех наблюдаемых объектов необходимо принять решение о том, какой именно из этих объектов относится к интересующему классу. Принято считать, что задачу селекции можно решить, последовательно применяя алгоритмы распознавания к различным объектам наблюдаемого множества. Однако такой подход применим, если признаки наблюдаемых объектов измеряются без ошибок, а соответствующие различным классам области значений признаков не пересекаются. На практике, вследствие воздействия шумов измеряемые значения реализаций сигналов являются случайными функциями и при любом априорном разбиении пространства реализаций в области, соответствующей селектируемому классу, может оказаться больше одной реализации либо не оказаться ни одной. Оба эти случая не соответствуют постановке задачи селекции, поскольку в результате ее решения необходимо выбрать единственный класс во всем множестве классов, т.е. принятие определенного решения становится невозможным [2]. Поэтому представляет практический интерес рассмотрение возможности применения теории нечетких множеств для решения задачи селекции.

Подход к формализации понятия нечеткого множества состоит в обобщении понятия принадлежности [3]. В обычной теории множеств существ-

ует несколько способов задания множества. Одним из них является задание с помощью характеристической функции. С точки зрения этой функции, нечеткие множества есть естественное обобщение обычных множеств, когда отказываются от бинарного характера этой функции и предполагается, что она может принимать любые значения на отрезке  $[0,1]$ . В теории нечетких множеств характеристическая функция называется функцией принадлежности, а ее значение  $\mu_A(x)$  – степенью принадлежности элемента  $x$  нечеткому множеству  $A$ .

Более строго, нечетким множеством  $A$  называется совокупность пар

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in U \},$$

где  $\mu_A$  – функция принадлежности, т.е.  $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$ .

**Цель статьи:** рассмотреть возможность применения теории нечетких множеств для решения задачи селекции объектов дистанционного зондирования Земли с учетом их фрактальных свойств.

### Нечеткое описание характеристик рассеяния объектов ДЗЗ

Каждый объект ДЗЗ определяется перечнем и значениями основных характеристик рассеяния. Поэтому сравнительная оценка нескольких объектов ДЗЗ и выделение одного класса объектов ДЗЗ связана с постановкой и решением многокритериальной задачи оптимизации. Краткая характеристика известных методов решения задач многокритериальной оптимизации (выделение основного критерия, формирования обобщенного критерия, последовательных уступок, анализа иерархий) представлена в [4].

К основным характеристикам рассеяния объектов ДЗЗ можно отнести [6, 7]: спектр флуктуаций рассеивающей поверхности (Гц); соотношение мощностей стабильной и флуктуирующей компонент (дБ); удельную эффективную площадь рассеяния (дБ); геометрические размеры, соотношение правильных и неправильных форм (ед), а

также фрактальные размерности сигналов, отраженных от фона ( $D_f$  [1, 2]) и антропогенного объекта ( $D_{ao}$  [1, 2]) [9]. Численные значения характеристик рассеяния объектов ДЗЗ могут определяться с использованием различных методов обработки отраженных радиолокационных сигналов. Характер флуктуаций рассеивающих поверхностей, как правило, оценивают с использованием спектрального анализа отраженных сигналов от объектов ДЗЗ.

Использование фильтровой обработки позволяет оценить величины стабильной и флуктуирующей компонент принятого сигнала, а также определить соотношение мощностей этих компонент. Экспериментальные исследования эффективных площадей рассеяния различных объектов ДЗЗ и построение диаграмм вторичного рассеяния позволяют определить численные значения удельных эффективных площадей рассеяния и оценить соотношения правильных и неправильных форм объектов ДЗЗ и их геометрические размеры. Как свидетельствуют исследования, проводимые в мире [8], реальные природные образования имеют фрактальную структуру. При этом отраженный от поверхности Земли радиолокационный сигнал имеет фрактальные свойства, такой сигнал получил название дифрактала [10]. Степень флуктуаций отраженного сигнала может быть описана с помощью характеристического коэффициента – фрактальной размерности.

Фрактальная размерность, как правило, является неотрицательным нецелым числом, отражающим, некоторым образом, форму принятого сигнала. При двумерном представлении принимаемого сигнала величина фрактальной размерности лежит в пределах  $1,0 < D < 2,0$ . Большому значению фрактальной размерности соответствует большая степень заполнения плоскости. Для гладких сигналов фрактальная размерность будет близка  $D = 1,0$ , т.е. практически совпадать с топологической размерностью линии, а для изрезанных, заполняющих всю плоскость сигналов, –  $D = 2,0$  (практически совпадать с топологической размерностью плоскости). Существуют различные методы определения фрактальной размерности [8, 9]. На практике статистическая информация о характеристиках рассеяния объектов ДЗЗ сильно ограничена. Поэтому задачу селекции антропогенных объектов надо рассматривать в условиях априорной неопределенности. В этих условиях селекция может производиться на основе постановки экспертизы и обработки экспертных данных.

При организации экспертизы решается задача принятия решений о выборе наиболее точной оценки селектируемого класса объектов ДЗЗ  $\Psi_{opt}$  из всего множества допустимых оценок значений  $\Psi$  (классов объектов ДЗЗ). При формировании множества  $\Psi$ , как правило, руководствуются обобщенными значениями характеристики рассеяния, присущих различным классам объектов ДЗЗ. Однако, из-за отсутствия априорных данных об обобщенных ха-

рактеристиках, эксперт такими значениями не руководствуется. Поэтому при осуществлении селекции (постановке экспертизы) используется множество оценок значений характеристик рассеяния, которые доступны каждому из экспертов  $\Psi_\ell$ . Для повышения точности прогнозной оценки система селекции объектов ДЗЗ должна учитывать информацию о характеристиках рассеяния существующих классах объектов ДЗЗ  $\Psi$ , доступных каждому эксперту множеств оценок значений характеристик рассеяния  $\Psi_\ell$ , наличие связи между экспертами, наличие обратной связи, метод обработки экспертных данных.

Исходя из этого в системе селекции объектов ДЗЗ может быть реализована такая схема экспертизы, в которой каждый  $\ell$ -й эксперт свое субъективное мнение о прогнозируемом значении характеристики рассеяния объекта ДЗЗ выражает в четкой постановке тремя оценками: негативной, наиболее ожидаемой и положительной. Дальнейшее повышение доверия к субъективным оценкам экспертов может заключаться в нечетких оценках прогнозных значений характеристик рассеяния. Это реализуется тогда, когда каждый эксперт выражает свое мнение о прогнозируемом значении характеристики рассеяния в виде нечеткого треугольного числа, функция принадлежности которого имеет вид [3]:

$$\mu_{A_k}(x) = \begin{cases} [x - (A_k - \varepsilon_1)] / \varepsilon_1, & A_k - \varepsilon_1 \leq x \leq A_k; \\ [(A_k - \varepsilon_2) - x] / \varepsilon_2, & A_k \leq x \leq A_k + \varepsilon_2; \\ 0, & 0 \leq A_k - \varepsilon_1, x \geq A_k + \varepsilon_2 \end{cases} \quad (1)$$

и показана на рис. 1.



Рис. 1. Представление значения характеристики рассеяния нечетким треугольным числом

Схема экспертиз предусматривает, что каждый  $\ell$ -й эксперт выражает свое субъективное мнение в виде трех значений о  $A_k$ -ой характеристике рассеяния объекта ДЗЗ, а именно:  $(A_k^\ell + \varepsilon_1^\ell)$  – негативную оценку (возрастающий участок треугольника);  $A_k^\ell$  – оценку, наиболее ожидаемую (вершина треугольника);  $(A_k^\ell + \varepsilon_2^\ell)$  – позитивную оценку (спадающий участок треугольника). Потом эти оценки соответственно усредняются с учетом взвешивающих коэффициентов экспертов и получают описание  $A_k$ -й характеристики рассеяния объекта ДЗЗ.

Если принять  $\mu_{A_k}(x) = \alpha$ , то определяются четкие  $\alpha$ -уровневые подмножества

$$\{A_k^\alpha = \bar{A}_k^\alpha, \dots, \bar{\bar{A}}_k^\alpha\},$$

где  $\bar{A}_k^\alpha, \bar{\bar{A}}_k^\alpha$  – соответственно левая и правая границы значения  $A_k$ -й характеристики рассеяния объекта ДЗЗ.

Исходя из содержания нечеткого подмножества  $A_k$  исследователь принимает  $\alpha \geq \alpha_{нд}$  – уровень необходимого доверия прогнозных значений  $A_k$ -й

характеристики рассеяния, например,  $\alpha_{нд}$  может определяться как  $\alpha_{нд} = 0,5$ .

С использованием информации об основных характеристиках рассеяния, которые приведены в [6, 7, 9], определим (проведем экспертизу) диапазоны изменения характеристик рассеяния объектов ДЗЗ с целью решения задачи селекции. Для двух объектов ДЗЗ четкие множества изменения значений показателей при принятом уровне  $\alpha$  функций принадлежности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения характеристик рассеяния объектов ДЗЗ

Объект зондирования	Спектр флуктуаций рассеивающей поверхности, Гц	Соотношение мощностей стабильной и флуктуирующей компонент, дБ	Фрактальная размерность сигнала, отраженного от фона, $D_\phi$ [1,2]	Фрактальная размерность сигнала, отраженного от антропогенного объекта, $D_{ao}$ [1,2]	Удельная эффективная площадь рассеяния, дБ	Геометрические размеры, соотношение правильной и неправильной форм, ед. $A_6^\alpha$
	$A_1^\alpha$	$A_2^\alpha$	$A_3^\alpha$	$A_4^\alpha$	$A_5^\alpha$	$A_6^\alpha$
Антропогенного происхождения	0, ..., 100	0, ..., 40	1,0, ..., 1,5	1,0, ..., 1,4	-45, ..., -29	0, ..., 100
Природного происхождения	0, ..., 5000	0, ..., 30	1,3, ..., 2,0	1,3, ..., 2,0	-27, ..., -12	0, ..., 1

Как видно из анализа данных табл. 1, диапазоны характеристик рассеяния объектов природного и антропогенного происхождения пересекаются, и провести селекцию в этих условиях становится невозможно. Поэтому при обработке экспертных данных значения каждой характеристики рассеяния будем представлять нечетким подмножеством (нечетким треугольным числом).

Таким образом, так как численные значения характеристик рассеяния различных объектов ДЗЗ изменяются в определенном интервале и диапазоны изменения этих характеристик пересекаются, то для решения задачи селекции заданного класса объекта ДЗЗ целесообразно использовать нечеткое описание характеристик рассеяния.

### Принятие решения при селекции объектов ДЗЗ

С целью определения селектируемого объекта ДЗЗ по прогнозируемым значениям основных характеристик рассеяния в нечеткой постановке, рассмотрим возможную декомпозицию проблемы в иерархию, которая представлена на рис. 2. Как видно из рис. 2, декомпозиция проблемы в иерархию имеет три уровня: первый уровень характеризует цель, которая достигается при решении проблемы; второй уровень включает характеристики рассеяния (критерии), по которым должна приниматься решение о селектируемом объекте ДЗЗ; третий уровень определяет перечень альтернатив, которые, по мнению эксперта, составляет полное их множество.

Таким образом, декомпозиция проблемы в иерархию отображает содержание многокритериальной задачи оптимизации, которая имеет нечеткое

описание прогнозных значений  $A_k$  основных характеристик рассеяния объектов ДЗЗ, которые четко описываются количественно и измеряются в соответствующих величинах.

Согласно, представленной на рис. 2 декомпозиции проблемы в иерархию все показатели (критерии), определены в нечеткой постановке и будут учитываться в последующем рассмотрении в качестве четких множеств (интервалов) при принятом значении их функций принадлежности. При принятом уровне  $\alpha$  определим по методу анализа иерархий селектируемый объект ДЗЗ по показателям  $A_1^\alpha, A_2^\alpha, A_3^\alpha, A_4^\alpha, A_5^\alpha, A_6^\alpha$ , которые описываются интервалами  $\{\bar{A}_k^\alpha, \dots, \bar{\bar{A}}_k^\alpha\}, k = 1, \dots, 6$ .

По методу анализа иерархий [5], решение выше отмеченной проблемы, предусматривает определение сравнительной важности показателей. Так при попарном сравнении объектов, если один объект оценивается в  $\alpha$  раз сильнее, чем другой, то второй объект оценивается только в  $1/\alpha$  раз сильнее, чем первый, и т.д.

Бинарное сравнение характеристик рассеяния объектов ДЗЗ, которые являются результатом экспертизы (второй уровень иерархии), представлено в табл. 2 по качественной шкале. При составлении значений элементов табл. 2 эксперты руководствовались мыслью: во сколько раз выбранная характеристика рассеяния более существенна (весомая) по отношению к другой характеристике с точки зрения возможности селекции антропогенного объекта. В качестве экспертов выступали авторы статьи. При этом использовалась девяти бальная шкала, обоснование выбора которой приведено в [5].

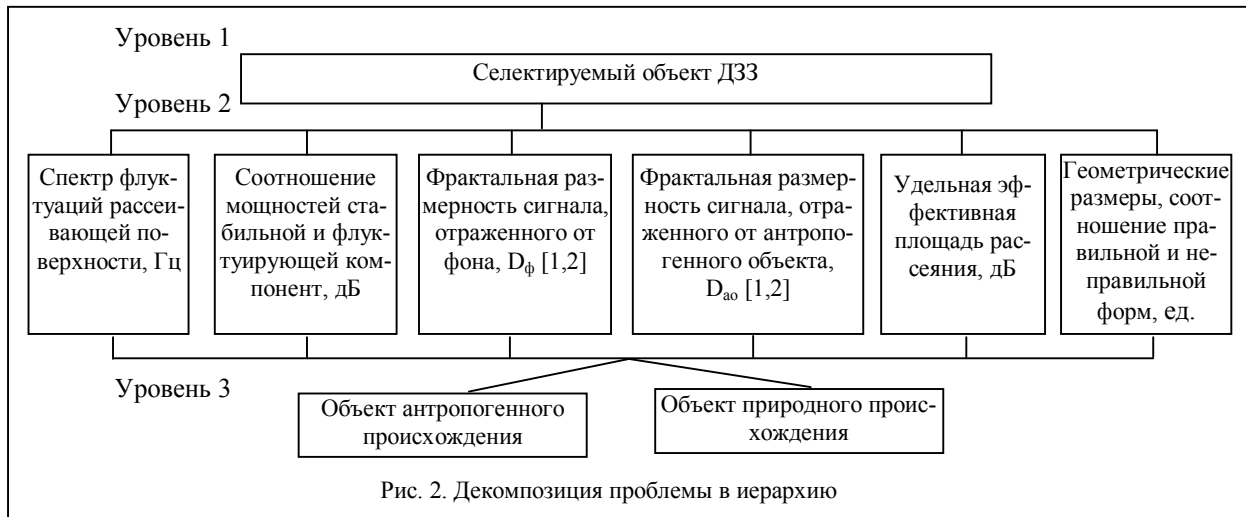


Таблица 2

Бинарное сравнение характеристик рассеяния объектов ДЗЗ

Характеристики рассеяния объектов ДЗЗ	$A_1^a$ Гц	$A_2^a$ дБ	$A_3^a$ [1,2]	$A_4^a$ [1,2]	$A_5^a$ дБ	$A_6^a$ ед.
$A_1^a$ – спектр флуктуаций рассеивающей поверхности	1	1/7	1/3	1/7	4	1/4
$A_2^a$ – соотношение мощностей стабильной и флуктуирующей компонент	7	1	5	1/3	5	3
$A_3^a$ – фрактальная размерность сигнала, отраженного от фона, $D_f$	3	1/5	1	1/5	3	1/5
$A_4^a$ – фрактальная размерность антропогенного объекта, $D_{ao}$	7	3	5	1	5	3
$A_5^a$ – удельная эффективная площадь рассеяния	1/4	1/5	1/3	1/5	1	1/5
$A_6^a$ – геометрические размеры, соотношение правильной и неправильной форм	4	1/3	5	1/3	5	1

Если  $i$ -ая и  $j$ -ая характеристики рассеяния ( $A_i^a$  и  $A_j^a$ ) одинаково важны, то в таблицу заносится число 1. Если  $i$ -ая характеристика рассеяния незначительно важнее, чем  $j$ -ая в таблицу заносится число 3. Если  $i$ -ая характеристика рассеяния значительно важнее  $j$ -ой – заносится число 5. Если  $i$ -ая характеристика рассеяния явно важнее  $j$ -ой – заносится число 7. Если же  $i$ -ая характеристика рассеяния по своей значительности абсолютно превосходит  $j$ -ую – число 9 заносится в позицию  $(i,j)$ , где пересекаются строка  $i$  и столбец  $j$  таблицы. Для обратного сравнения  $j$ -ой характеристики рассеяния с  $i$ -ой ( $A_j^a$  и  $A_i^a$ ), т.е. в позицию  $(j,i)$  заносятся соответствующие обратные величины: 1, 1/3, ..., или 1/9 на пересечениях столбца  $i$  и строки  $j$ . Числа 2, 4, 6, 8 и их обратные величины используются для облегчения компромиссов между незначительно отличающимися суждениями.

Кратко рассмотрим доводы экспертов при заполнении табл. 2, т.е. при обосновании весомости характеристик рассеяния для решения задачи селекции объекта антропогенного происхождения.

При сравнении характеристик рассеяния самих с собой имеем равную значительность, так что в ячейки  $A_{11}^a, A_{22}^a, A_{33}^a, A_{44}^a, A_{55}^a$  и  $A_{66}^a$  таблицы заносится число 1.

Преобладание стабильной компоненты отраженного сигнала над флуктуирующей является одним из определяющих признаков при селекции антропогенного объекта, так как эти объекты менее подвержены воздействию внешних факторов. Поэтому характеристика рассеяния соотношение мощностей стабильной и флуктуирующей компонент является: явно важнее (число 7 в ячейке  $A_{21}^a$  таблицы и 1/7 в ячейке  $A_{12}^a$ ), значительно важнее фрактальной размерности сигнала, отраженного от фона и удельной эффективной площади рассеяния (число 5 в ячейках  $A_{23}^a$  и  $A_{25}^a$  таблицы и 1/5 в ячейках  $A_{32}^a$  и  $A_{52}^a$ ), незначительно важнее геометрических размеров и соотношения правильных и неправильных форм (число 3 в ячейке  $A_{26}^a$  таблицы и 1/3 в ячейке  $A_{62}^a$ ).

Фрактальная размерность сигнала, отраженного от антропогенного объекта, также является определяющим признаком при селекции, так как эти сигналы менее изрезаны и диапазон изменения фрактальной размерности не велик (табл. 1). С учетом этого, фрактальная размерность сигнала, отраженного от антропогенного объекта, является: явно важнее спектра флуктуаций рассеивающей поверхности (число 7 в ячейке  $A_{41}^a$  таблицы и 1/7 в ячейке  $A_{14}^a$ ), значительно важнее фрактальной размерности сигнала, отраженного от фона и удельной эффек-

тивной площади рассеяния (число 5 в ячейках  $A_{43}^{\alpha}$  и  $A_{45}^{\alpha}$  таблицы и 1/5 в ячейках  $A_{34}^{\alpha}$  и  $A_{54}^{\alpha}$ ), незначительно важнее преобладания стабильной компоненты отраженного сигнала над флуктуирующей и геометрических размеров и соотношения правильных и неправильных форм (число 3 в ячейке  $A_{42}^{\alpha}$  и  $A_{46}^{\alpha}$  таблицы и 1/3 в ячейке  $A_{24}^{\alpha}$  и  $A_{64}^{\alpha}$ ).

Еще одним из определяющих признаков при селекции антропогенного объекта является геометрические размеры, соотношение правильных и неправильных форм, так как объекты антропогенного происхождения, как правило, имеют правильные формы и относительно небольшие размеры. В результате этого, данная характеристика рассеяния значительно важнее фрактальной размерности сигнала, отраженного от фона и удельной эффективной площади рассеяния (число 5 в ячейках  $A_{63}^{\alpha}$  и  $A_{65}^{\alpha}$  таблицы и 1/5 в ячейках  $A_{36}^{\alpha}$  и  $A_{56}^{\alpha}$ ), и немного меньше значительно важнее спектра флуктуаций рассеивающей поверхности (число 4 в ячейке  $A_{61}^{\alpha}$  таблицы и 1/4 в ячейке  $A_{16}^{\alpha}$ ).

Фрактальная размерность сигнала, отраженного от фона характеризует степень изрезанности подстилающей поверхности и поэтому при селекции антропогенных объектов она незначительно важнее спектра флуктуаций рассеивающей поверхности и удельной эффективной площади рассеяния (число 3 в ячейке  $A_{31}^{\alpha}$  и  $A_{35}^{\alpha}$  таблицы и 1/3 в ячейке  $A_{13}^{\alpha}$  и  $A_{53}^{\alpha}$ ).

При сравнении спектра флуктуаций рассеивающей поверхности и удельной эффективной площади рассеяния первая характеристика рассеяния является немного меньше значительно важнее чем вторая (число 4 в ячейке  $A_{15}^{\alpha}$  таблицы и 1/4 в ячейке  $A_{51}^{\alpha}$ ).

Данные табл. 2 могут быть представлена в виде матрицы  $A = \|a_{ij}\|$ ,  $i, j = 1, \dots, 6$ , главная диагональ которой состоит из единиц

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 & 1/7 & 4 & 1/4 \\ 7 & 1 & 5 & 1/3 & 5 & 3 \\ 3 & 1/5 & 1 & 1/5 & 3 & 1/5 \\ 7 & 3 & 5 & 1 & 5 & 3 \\ 1/4 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/5 \\ 4 & 1/3 & 5 & 1/3 & 5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Решение матричного уравнения  $A\mu^{\alpha T} = \lambda_{\max} \mu^{\alpha}$  дает собственный вектор, который имеет константы  $\mu^{\alpha} = \{0,045; 0,205; 0,06; 0,453; 0,043; 0,131\}$ .

Нормируемый вектор  $\mu_i^{n,\alpha} = \mu_i^{\alpha} / \sum_{i=1}^6 \mu_i^{\alpha}$ , имеет вид  $\mu^{n,\alpha} = \{0,048; 0,219; 0,064; 0,483; 0,046; 0,14\}$ .

Результат  $\mu^{n,\alpha}$  соответствует принятому для всех характеристик рассеяния уровню  $\alpha$  функций принадлежности.

Рассмотрим бинарные отношения преимуществ селектируемых объектов ДЗЗ, которые составляют содержание третьего уровня иерархии, с точки зрения той или иной характеристики рассеяния. Такие шесть матриц приведены ниже:

$$C1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/4 \\ 4 & 1 \end{pmatrix}; C2 = \begin{pmatrix} 1 & 7 \\ 1/7 & 1 \end{pmatrix}; C3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}; \\ C4 = \begin{pmatrix} 1 & 7 \\ 1/7 & 1 \end{pmatrix}; C5 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}; C6 = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 1/4 & 1 \end{pmatrix}.$$

Бинарные сравнения на третьем уровне иерархии эксперты проводят, руководствуясь мыслью: какой из рассматриваемых объектов ДЗЗ лучше относится к селектируемому классу, отдельно по каждой характеристике рассеяния. При этом использовалась описанная выше девяти бальная шкала.

Кратко рассмотрим доводы экспертов при построении матриц  $C1 - C6$ , т.е. при обосновании весовости объекта ДЗЗ (антропогенного (объект 1) или природного (объект 2) происхождения) по каждой из шести характеристик рассеяния. Объект 2 немного меньше значительно важнее объекта 1 ( $c_{121} = 4$ ,  $c_{112} = 1/4$ ) по первой характеристике, так как спектр флуктуаций рассеивающей поверхности больше характеризует подстилающую поверхность. В тоже время объект 1 немного меньше значительно важнее объекта 2 ( $c_{612} = 4$ ,  $c_{621} = 1/4$ ) по шестой характеристике, так как геометрические размеры и соотношение правильных и неправильных форм больше характеризуют антропогенный объект. Соотношение мощностей стабильной и флуктуирующей компонент, а также фрактальная размерность сигнала, отраженного от антропогенного объекта, являются основными характеристиками антропогенного объекта, поэтому объект 1 явно важнее объекта 2 по этим характеристикам ( $c_{212} = c_{412} = 7$ ,  $c_{121} = c_{421} = 1/7$ ). Так как фрактальная размерность сигнала, отраженного от фона, больше характеризует природные образования то по этой характеристике объект 2 незначительно важнее объекта 1 ( $c_{321} = 3$ ,  $c_{312} = 1/3$ ). Удельная эффективная площадь рассеяния в равной мере характеризует объекты 1 и 2, поэтому ( $c_{512} = c_{521} = 1$ ).

Ниже приведены нормированные собственные векторы  $\mu^{n,\alpha}$ ,  $i = 1, \dots, 6$  соответствующих матриц бинарного сравнения:  $\mu^{1n,\alpha} = \{0,2; 0,8\}$ ;  $\mu^{2n,\alpha} = \{0,875; 0,125\}$ ;  $\mu^{3n,\alpha} = \{0,25; 0,75\}$ ;  $\mu^{4n,\alpha} = \{0,875; 0,125\}$ ;  $\mu^{5n,\alpha} = \{0,5; 0,5\}$ ;  $\mu^{6n,\alpha} = \{0,8; 0,2\}$ .

С целью получения обобщенных показателей о селектируемом объекте ДЗЗ реализуется принцип синтеза, согласно которого компонента вектора приоритетов о селектируемом объекте ДЗЗ определяется с использованием выражения

$$\mu_k^{n,\alpha} = \sum_{i=1}^6 \mu_{i,k}^{n,\alpha} \mu_i^{n,\alpha}, k = 1, 2,$$

где  $\mu_{i,k}^{n,\alpha}$  – нормируемое значение  $k$ -й компоненты вектора приоритета селектируемого объекта по  $i$ -му показателю, значения которого определены  $\alpha$ -уровневым четким интервалом функции принадлежности;  $\mu_i^{n,\alpha}$  – нормируемое значение  $i$ -й компоненты вектора приоритетов показателей, по которым принимается решение о селектируемом объекте ДЗЗ, и значение которых определено  $\alpha$ -уровневым интервалом.

Для подсчета компоненты  $\mu_k^{n,\alpha}$  данные, полученные выше удобно представить в следующем виде:

$$\mu_i^{n,\alpha} = \{0,048; 0,219; 0,064; 0,483; 0,046; 0,14\};$$

$$\mu_{i,1}^{n,\alpha} = \{0,2; 0,875; 0,25; 0,875; 0,5; 0,8\};$$

$$\mu_{i,2}^{n,\alpha} = \{0,8; 0,125; 0,75; 0,125; 0,5; 0,2\}.$$

Вектор приоритетов селектируемого объекта ДЗЗ будет иметь вид  $\mu_{i,k}^{n,\alpha} = \{0,775; 0,225\}$ .

Таким образом, следует принять решение, что из двух рассматриваемых классов объектов ДЗЗ, к селектируемому классу целесообразно отнести первый класс объектов, т.е. объект антропогенного происхождения.

### Выводы

1. Численные значения характеристик рассеяния различных объектов ДЗЗ изменяются в определенном интервале и диапазоны изменения этих характеристик пересекаются, поэтому для решения задачи селекции заданного класса объекта ДЗЗ целесообразно использовать нечеткое описание характеристик рассеяния.

2. Для принятия решения об отнесении объекта ДЗЗ к селектируемому классу по прогнозируемым значениям основных характеристик рассеяния в нечеткой постановке используется метод анализа иерархий.

3. Метод селекции объектов дистанционного зондирования Земли предусматривает декомпозицию проблемы в иерархию, определение сравнительной важности показателей и бинарное сравнение важности объектов дистанционного зондирования Земли по каждой характеристике рассеяния.

4. Применение разработанного метода позволило провести селекцию антропогенных объектов ДЗЗ при нечетком описании характеристик рассеяния.

5. При проведении дальнейших исследований целесообразно рассмотреть возможность автоматизации процесса определения важности характеристик рассеяния при решении задачи селекции антропогенных объектов.

### Список литературы

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Сканэкс, 1997. – 296 с.
2. Селекция и распознавание на основе локационной информации / Под ред. А.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 406 с.
4. Більчук В.М. Прийняття рішень щодо визначення перспективних зразків озброєння при нечіткому опису їх інформаційного ресурсу // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 124-130.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
6. Басс Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Сов. радио, 1972. – 424 с.
7. Кулемин Г.П., Разказовский В.Б. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами. – К.: Наук. думка, 1987. – 232 с.
8. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
9. Фрактальный анализ процессов структур и сигналов / Под. ред. Р.Э. Пащенко. – Х.: НЭО Экоперспектива, 2006. – 348 с.
10. Berry M.V. Diffraction // J. Phys. A. – 1979. – V. 12, № 6. – P. 781-797.

Поступила в редколлегию 22.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### СЕЛЕКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ПРИ НЕЧІТКОМУ ОПИСІ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЯННЯ

В.М. Більчук, Р.Е. Пащенко, О.І. Вовк

*Розглянута можливість застосування теорії нечітких множин для вирішення завдання селекції об'єктів дистанційного зондування Землі. Введений нечіткий опис характеристик розсіяння об'єктів зондування з урахуванням їх фрактальних властивостей. На основі такого опису розроблений метод селекції об'єктів дистанційного зондування Землі. Метод селекції об'єктів дистанційного зондування Землі передбачає декомпозицію проблеми в ієрархію, визначення порівняльної важливості показників і бинарне порівняння важливості об'єктів дистанційного зондування Землі по кожній характеристиці розсіяння.*

**Ключові слова:** селекція об'єктів ДЗЗ, нечіткий опис, фрактальна розмірність.

### SELECTION OF OBJECTS OF REMOTE SENSING OF EARTH AT UNCLEAR DESCRIPTION OF THEIR DESCRIPTIONS OF DISPERSION

V.M. Bil'chuk, R.E. Paschenko, A.I. Vovk

*Possibility of application of theory of fuzzy sets is considered for the decision of task of selection of objects of the remote sensing of Earth. Unclear description of descriptions of dispersion of sounding objects is entered taking into account their fractal properties. On the basis of such description the method of selection of objects of the remote sensing of Earth is developed. The method of selection of objects of the remote sensing of Earth foresees decomposition of problem in a hierarchy, determination of comparative importance of indexes and binary comparison of importance of objects of the remote sensing of Earth by every recommendation of dispersion.*

**Keywords:** selection of objects of DZZ, unclear description, fractal dimension.