

УДК 530.1 + 528.8

Р.Э. Пашенко, В.С. Куц, А.В. Шаповалов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЛАСТЕЙ НАБЛЮДЕНИЯ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСТРОЧНОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ РАЗМЕРНОСТЕЙ И ИХ МЕЖСТРОЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Предложен метод локализации областей наблюдения с использованием построочного вычисления фрактальных размерностей и их межстрочной обработкой. Разработанный метод позволяет устойчиво выделять объекты на цифровых аэрокосмических изображениях и автоматизировать процесс их обработки. Метод состоит из нескольких этапов обработки и может быть реализован программно-алгоритмически на персональном компьютере. Применение данного метода позволяет локализовать области наблюдения на слабоконтрастных изображениях.

**Ключевые слова:** локализация областей наблюдения, цифровое аэрокосмическое изображение, фрактальная размерность, ковариация.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

На современном этапе развития средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) большой практический интерес представляют задачи локализации областей наблюдения на цифровых аэрокосмических изображениях и выделения на них антропогенных объектов [1].

Основным методом обработки аэрокосмических изображений является визуальный метод [2]. При этом анализируется большой объем данных, что приводит к низкому темпу обработки информации. Использование методов и устройств автоматизированной обработки позволяет повысить эффективность обработки аэрокосмических снимков, при этом часто используются спектральные [3] и контурно-текстурные [4] методы. Однако следует отметить, что данные методы позволяют получить лишь общие сведения об анализируемых изображениях и являются малоэффективными при работе со слабоконтрастными изображениями. Последние исследования показали возможность применения теории фракталов для анализа цифровых аэрокосмических изображений [5, 6]. Данные методы позволяют осуществлять моделирование аэрокосмических изображений [7], проводить анализ пространственных структур [8] а также осуществлять сегментацию изображений [6].

Использование свойств фрактальной геометрии для описания природных подстилающих поверхностей позволяет предложить в качестве признака сегментации изображения – фрактальную размерность, которая количественно учитывает случайный и хаотичный характер природных пространственных структур.

Одним из основных свойств фрактальной размерности в теории фракталов, позволяющее использовать ее в качестве признака сегментации есть то,

что размерность является дробной величиной. Численное значение величины размерности характеризует степень заполнения пространства, в котором существует фрактальная система. Различные природные структуры имеют различную фрактальную размерность.

Понятие фрактальной меры и фрактальной размерности множеств, характеризующих их в целом, базируется на определениях, введенных Хаусдорфом и Безиковичем [9]. Для анализа фрактальной размерности часто применяют упрощенный вариант размерности Хаусдорфа-Безиковича

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log(1/\epsilon)}. \quad (1)$$

Для определения размерности такого типа поступают следующим образом. Выбирают некоторый квадрат со стороной  $\epsilon$  и покрывают изображение  $E$ . Пусть  $N(\epsilon)$  минимальное количество квадратов со стороной  $\epsilon$  необходимых для покрытия изображения  $E$ . Тогда мера  $m_{\epsilon}^h(E)$  приближенно равна [5]

$$m_{\epsilon}^h(E) \approx N(\epsilon)\epsilon^D. \quad (2)$$

Полагая, что мера  $m_{\epsilon}^h(E) > 0$ , и для некоторого  $c > 0$  преобразуем (2) к виду

$$N(\epsilon) \approx \frac{c}{\epsilon^D}. \quad (3)$$

Логарифмируя правую и левую часть (3), получим

$$\log N(\epsilon) = \log c - D \log \epsilon, \quad (4)$$

то есть

$$D = -\frac{\log N(\epsilon)}{\log \epsilon} + \frac{\log c}{\log \epsilon}. \quad (5)$$

Данный метод определения фрактальной размерности называется методом покрытия [5].

**Цель статьи:** рассмотреть новый метод локализации областей наблюдения с использованием построчного вычисления фрактальных размерностей и их межстрочной обработкой для локализации областей наблюдения на аэрокосмических изображениях.

### Метод анализа фрактальной структуры изображений с использованием построчного вычисления фрактальных размерностей и их межстрочной обработкой

Для автоматизации процесса обработки аэрокосмических изображений разработан метод локализации областей наблюдения с использованием построчного вычисления фрактальных размерностей и их межстрочной обработкой, который состоит из нескольких этапов.

На первом этапе производится запись анализируемого изображения в память компьютера, выбирается размер “окна”  $W$  ( $a \times b$ ) и шаг перемещения  $s$  “окна” (“скользящее окно” или “скачущее окно”), т.е. на первом этапе осуществляется подготовка параметров для проведения обработки. Подходы к выбору параметров “окна” рассмотрены в [6].

На втором этапе осуществляется вычисление фрактальной размерности изображения в “окне” для каждого его положения в пределах анализируемой строки с последующим занесением полученного значения в вектор локальных фрактальных размерностей (ЛФР).

На рис. 1, а показана выборочная 200 строка исходного изображения ( $m \times n = 500 \times 500$ ) при размере “окна”  $a \times a = 8 \times 8$  пикселей, а на рис. 1, б – рассчитанные значения фрактальных размерностей (вектор ЛФР) для 200 строки исходного изображения, полученные при использовании “скользящего окна”  $s = 1$  (по оси абсцисс отложены значения положения “скользящего окна”  $s$ , а по оси ординат – численные значения фрактальных размерностей  $D$ ).

Вектор ЛФР строится следующим образом. Левый верхний угол “окна” в первом положении соответствует 200 пикселю по вертикали (200 строка изображения) и 0 пикселю по горизонтали (0 столбец изображения). Так как размер “окна”  $a \times a = 8 \times 8$  пикселей, то левый нижний угол “окна” в первом положении соответствует 207 пикселю по вертикали и нулевому пикселю по горизонтали, правый верхний угол – 200 пикселю по вертикали и 7 пикселю по горизонтали, и правый нижний угол – 207 пикселю по вертикали и 7 пикселю по горизонтали. В пределах “окна” в первом положении находится (рассчитывается) фрактальная размерность с использованием, описанного выше, метода покрытия. Затем “окно” смещается на один пиксель по горизонтали (движение вдоль строки), и для нового положения “окна” рассчитывается фрактальная размерность. Процесс вычисления фрактальных размерностей прекращается, когда правые верхний и нижний угол “ок-

на” будут соответствовать правой границе изображения (500 столбец изображения). Длина вектора ЛФР определяется размером анализируемого изображения, размера “окна”. Таким образом, вектор ЛФР состоит из фрактальных размерностей, рассчитанных в каждом положении “скользящего окна”.

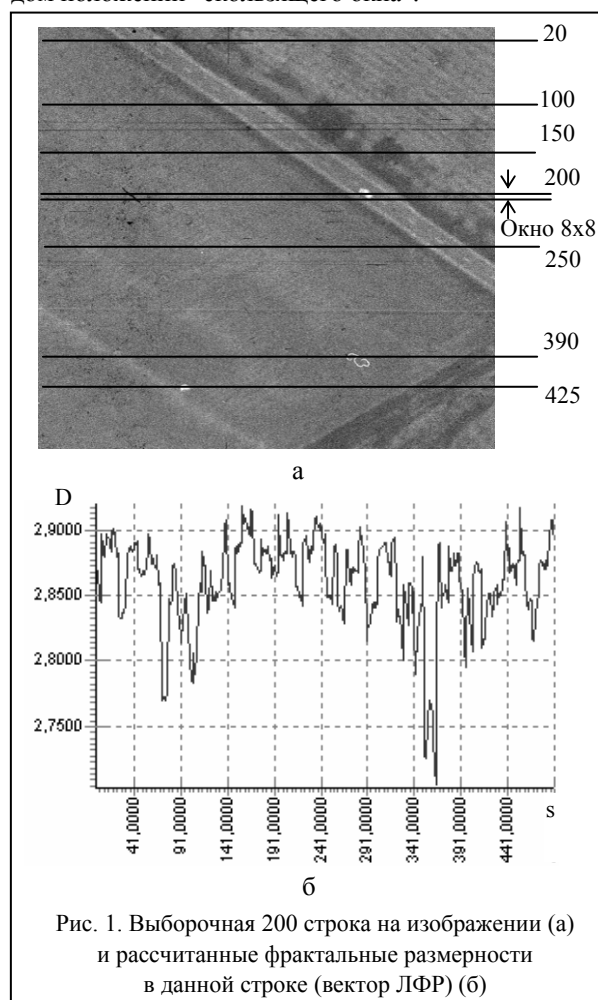


Рис. 1. Выборочная 200 строка на изображении (а) и рассчитанные фрактальные размерности в данной строке (вектор ЛФР) (б)

Как видно из рис. 1, а на анализируемом изображении в 200 строке находится легковая машина на дороге. Анализ вектора ЛФР (см. рис. 1, б) показывает, что фрактальная размерность будет минимальной при попадании “скользящего окна” на легковую машину. Такое изменение фрактальной размерности обусловлено различной структурой изображения подстилающей поверхности и антропогенного объекта. Таким образом, по изменению величины фрактальной размерности можно выделять объекты и поверхности с различной фрактальной структурой на цифровых изображениях.

На третьем этапе проводится расчет фрактальных размерностей в каждой строке анализируемого изображения, т.е. при анализе находятся вектора ЛФР со смещением по вертикали на один пиксель. На рис. 2 показаны выборочные вектора ЛФР, при этом рисунок (а) соответствует 20 строке анализируемого изображения (см. рис. 1, а), рисунок (б) – 100 строке, рисунок (в) – 150 строке, рисунок (г) – 250 строке, рисунок (д) – 290 строке, рисунок (е) – 425 строке.

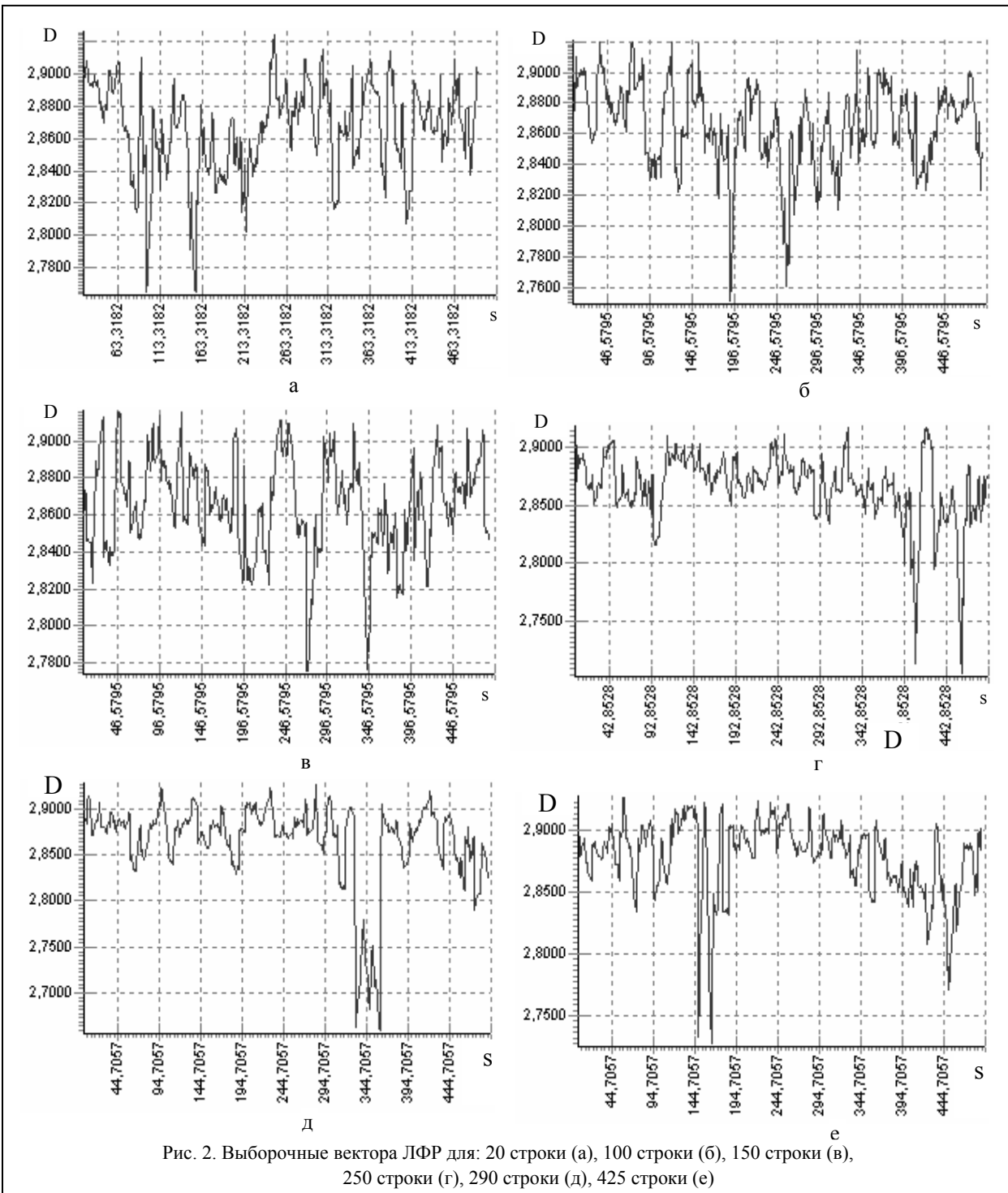


Рис. 2. Выборочные вектора ЛФР для: 20 строки (а), 100 строки (б), 150 строки (в), 250 строки (г), 290 строки (д), 425 строки (е)

На рис. 1, а видно, что дорога на изображении проходит под углом вниз слева на право в верхней части изображения. Анализ рис. 2, а-г показывает, что минимальные значения фрактальных размерностей наблюдаются на границах перехода от асфальтированной дороги (антропогенного объекта) к обочине (подстилающей поверхности). Так как дорога на изображении проходит под углом слева на право, то и минимальные значения фрактальных значений смещаются слева (см. рис. 2, а) на право (см. рис. 2, б-г). По расстоянию между минимальными значениями фрактальных размерностей можно определить ширину дороги.

На рис. 1, а также имеются две характерные особенности анализируемого изображения на 390 (справа) и 425 (слева) строках, которые определяются не структурой подстилающей поверхности. Вектора ЛФР соответствующие этим строкам показаны на рис. 2, д, е. Как видно из данных рисунков, построчный анализ фрактальных размерностей позволил выделить особенности на изображении. На 425 строке анализируемого изображения (см. рис. 1, а) также имеется переход от одного типа поверхности (поле с травой) к другой (пашня) в правой части изображения. Данный переход также можно выделить по изменению величины фрактальной размер-

ности, как это видно на рис. 2, е (при переходе от поля с травой к пашне величина фрактальной размерности уменьшается). Такое изменение фрактальной размерности обусловлено, тем, что изображение

поля с травой светлее, чем изображение пашни, т.е. эти поверхности имеют различную фрактальную структуру.

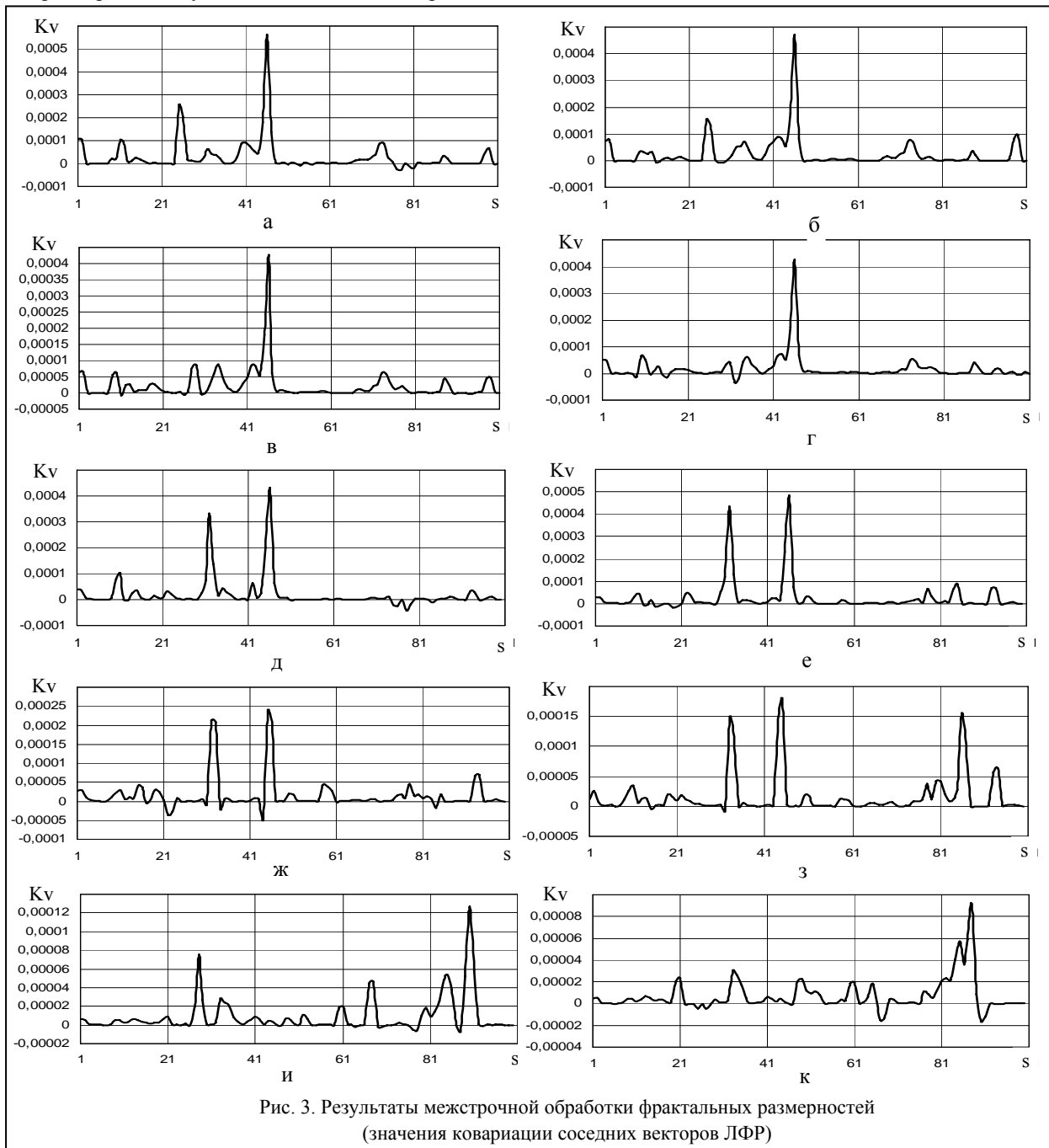


Рис. 3. Результаты межстрочной обработки фрактальных размерностей (значения ковариации соседних векторов ЛФР)

На четвертом этапе для автоматизации процесса дешифрирования изображения производится вычисление ковариаций соседних векторов ЛФР (масивов данных) с использованием выражения

$$Kv = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y), \quad (6)$$

где  $x_i$  и  $y_i$  – соседние вектора ЛФР;  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  – выборочные средние значения  $x$  и  $y$  векторов ЛФР;  $N$  – размер вектора ЛФР.

Выражение (6) позволяет определить ковариацию, то есть среднее произведений отклонений для

каждой пары фрактальных размерностей векторов ЛФР, которая позволяет определить связь между двумя соседними векторами ЛФР. На рис. 3, а-к показаны результаты межстрочной обработки фрактальных размерностей (изменение значений ковариации соседних векторов ЛФР). Для удобства отображения результатов обработка проводилась только для участка изображения, на котором зафиксирована легковая машина на дороге. Строки изменения значений ковариации содержат 100 значений (анализировались вектора ЛФР с 320 по 420 значение фрактальных размерностей). Рисунок (а) соответ-

вует межстрочной обработке 196 и 197 векторов ЛФР анализируемого изображения, рисунок (б) – 197 и 198 векторов ЛФР, рисунок (в) – 198 и 199 векторов ЛФР, рисунок (г) – 199 и 200 векторов ЛФР, рисунок (д) – 200 и 201 векторов ЛФР, рисунок (е) – 201 и 202 векторов ЛФР, рисунок (ж) – 202 и 203 векторов ЛФР, рисунок (з) – 203 и 204 векторов ЛФР, рисунок (и) – 204 и 205 векторов ЛФР, рисунок (к) – 205 и 206 векторов ЛФР.

Анализ данных на рис. 3 показывает, что там, где находится легковая машина на дороге (строки с 196 по 204, показанные соответственно на рис. 3, а-з) наблюдается повышение значений ковариации. Также необходимо отметить, что от вектора к вектору положение максимального значения ковариации не изменяется и соответствует положению машины на исходном изображении. На рис. 3, и, к показаны изменения ковариации векторов ЛФР, в которых отсутствовала машина. Как видно из данных рисунков значения ковариации векторов ЛФР будут меньше, чем те которые соответствовали машине, кроме того, от вектора к вектору положение макси-

мального значения ковариации изменяется.

Значения ковариаций между соседними векторами ЛФР вычисляются для всего изображения и запоминаются с сохранением адресов их расположения на исходном изображении (запоминается номер строки и номер столбца).

Таким образом, использование межстрочной обработки векторов ЛФР с использованием ковариационной функции позволяет найти области, имеющие близкие фрактальные размерности, т.е. определить части изображения, имеющие близкую фрактальную структуру.

На пятом этапе проводится сравнение вычисленных значений ковариаций с пороговым значением, и выделяются области наблюдения на изображении. Так как значения ковариации запоминаются с индексами (номера строк и столбцов), то на построенном изображении отображаются белым цветом только те области наблюдения, которые превысили порог. Для анализируемого изображения пороговое значение ковариации равно  $K_{v_{пор}} = 0,0002$ .

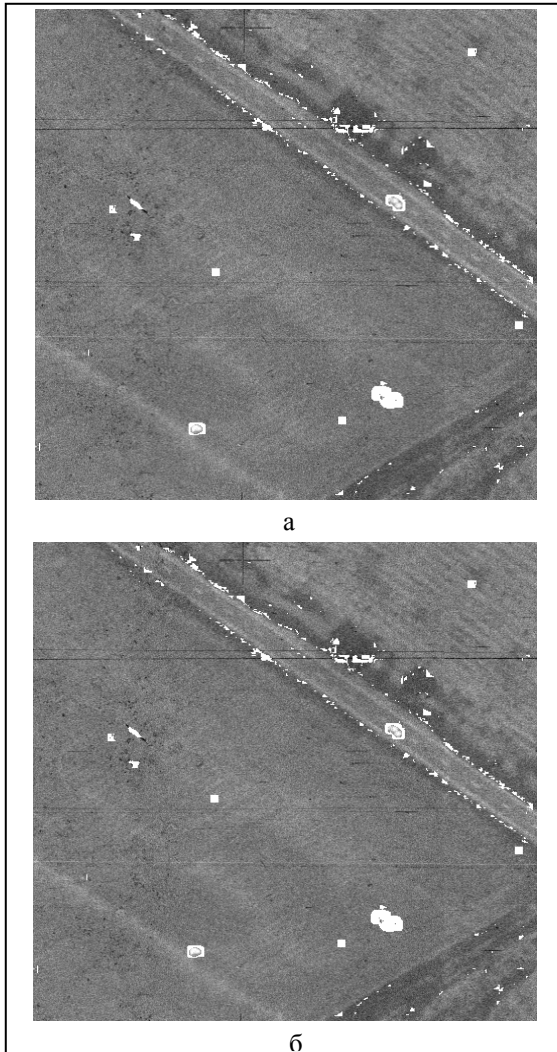


Рис. 4. Локализация областей наблюдения на анализируемом изображении, при размерах “скользящего окна”: 8 x 8 (а); 16 x 16 (б)

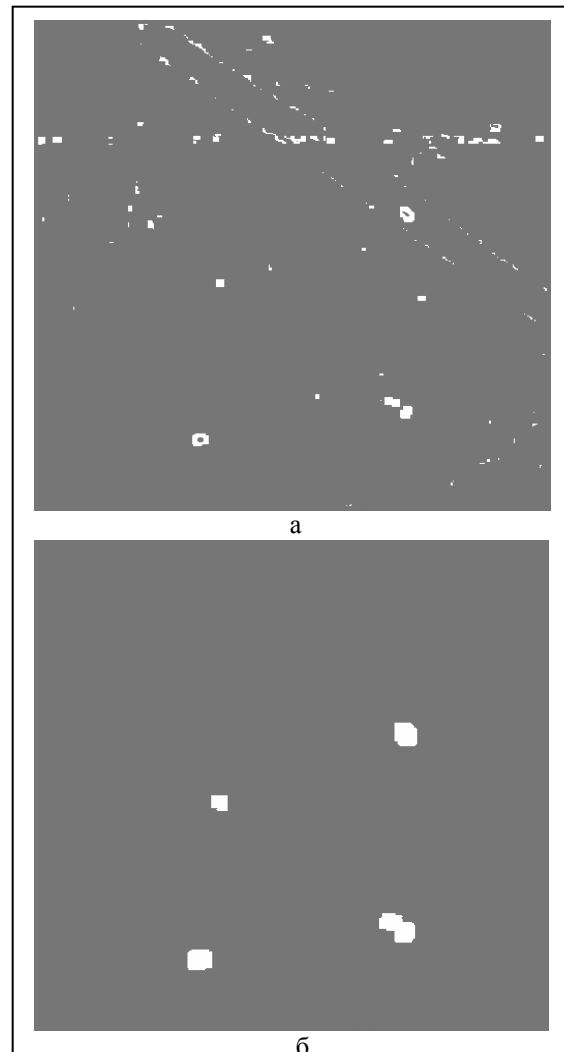


Рис. 5. Локализация областей наблюдения на слабоконтрастном изображении, при размерах “скользящего окна”: 8 x 8 (а); 16 x 16 (б)

На рис. 4 показано обработанное с использованием данного метода изображение (локализация областей наблюдения) с выделенными на нем областями наблюдения, построенное при различных значениях “скользящего окна” – 8 x 8 (рис. 4, а) и 16 x 16 (рис. 4, б).

Как видно из рис. 4, на изображении четко выделены области наблюдения (дорога, легковая машина на дороге, кустарники у дороги, а также другие особенности анализируемого изображения). Увеличение размера “скользящего окна” позволяет улучшить наглядное представление областей наблюдения, однако приводит к увеличению необработанных областей по краю изображения.

Проведем обработку исходного изображения дороги с легковой машиной на ней при его слабом контрасте с использованием разработанного метода. На рис. 5 показано обработанное слабоконтрастное изображение с выделенными на нем областями наблюдения, построенное при рассмотренных выше значениях “скользящего окна” – 8 x 8 (рис. 5, а) и 16 x 16 (рис. 5, б).

Из анализа рис. 5 видно, что на слабоконтрастном изображении также как и на исходном выделяются области наблюдения (дорога, легковая машина на дороге, кустарники у дороги, а также другие особенности анализируемого изображения). При этом более детальная информация получается при меньших размерах “окна”, однако и при увеличении размера “скользящего окна” наблюдается устойчивая локализация областей наблюдения.

### Выводы

1. Для автоматизации процесса обработки аэрокосмических изображений разработан метод локализации областей наблюдения с использованием построчного вычисления фрактальных размерностей и их межстрочной обработкой.

2. Разработанный метод состоит из нескольких этапов обработки и позволяет выделять объекты на цифровом слабоконтрастном изображении.

#### ЛОКАЛІЗАЦІЯ ОБЛАСТЕЙ СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРЯДКОВОГО ОБЧИСЛЕННЯ ФРАКТАЛЬНИХ РОЗМІРНОСТЕЙ ТА ЇХ МІЖРЯДКОВОЮ ОБРОБКОЮ

Пащенко Р.Е., Куц В.С., Шаповалов О.В.

*Запропонований метод локалізації областей спостереження з використанням рядкового обчислення фрактальних розмірностей та їх міжрядковою обробкою. Розроблений метод дозволяє стійко виділяти об'єкти на цифрових аерокосмічних зображеннях та автоматизувати процес їх обробки. Метод складається з декількох етапів обробки і може бути реалізований програмно-алгоритмічно на персональному комп'ютері. Застосування даного методу дозволяє локалізувати області спостереження на слабоконтрастних зображеннях.*

**Ключові слова:** локалізація областей спостереження, цифрове аерокосмічне зображення, фрактальна розмірність, коваріація.

#### LOCALIZATION REGIONS OF SUPERVISION ON THE AEROSPACE IMAGES WITH THE USE OF LINE CALCULATION FRACTALS DIMENSION AND THEIR BETWEEN LINE TREATMENT

Paschenko R., Kuc V., Shapovalov O.

*The method localization of regions supervision is offered with the use of line calculation of fractals dimension and their between line treatment. The developed method allows steadily to select objects on digital aerospace representations and automatize the process of their treatment. A method consists of a few stages of treatment and can be realized programmatically on the personal computer. Application of this method allows to localize the regions of supervision on the images of weak contrast.*

**Keywords:** localization regions of supervision, digital aerospace representation, fractal dimension, covariance.

3. Метод может быть реализован программно-алгоритмически на персональном компьютере, что позволяет локализовать области наблюдения в автоматическом режиме

4. При проведении дальнейших исследований целесообразно оценить влияние на качество локализации областей наблюдения размеров “скользящего окна” и размеров выделяемых объектов.

### Список литературы

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. *Космические системы дистанционного зондирования Земли*. – М.: Сканэкс, 1997. – 296 с.

2. Аксюттов Л.Н. *Прогнозирование вероятности распознавания объектов по космическим снимкам // Исследование Земли из Космоса*. – 1995. – № 2. – С. 3-11.

3. Януги Д.А. *Дешифрирование аэрокосмических снимков*. – М.: Недра, 1992. – 249 с.

4. Андреев Г.А., Потапов А.А., Галкина Т.В. и др. *О классификации изображений по их текстурным признакам // Исследование Земли из Космоса*. – 1990. – № 2. – С. 91-96.

5. Федер Е. *Фракталы: Пер с англ*. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

6. *Фрактальный анализ процессов структур и сигналов / Под. ред. Р.Э. Пащенко*. – Х.: НЭО Экоперспектива, 2006. – 348 с.

7. Марков Е.П. *Фрактальная модель космических оптико-электронных изображений // Исследование Земли из Космоса*. – 1996. – №1. – С. 56 – 61

8. Васильев Л.Н., Тюфлин А.С. *Фрактальность пространственных структур геосистем. // Исследование Земли из Космоса*. – 1991. – № 4. – С. 59-67.

9. Турбин А.Ф., Працевитый Н.В. *Фрактальные множества, функции, распределения*. – К.: Наукова думка, 1992. – 207 с.

Поступила в редколлегию 14.05.2008

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