

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ФРАКТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ С МАЛОКОНТРАСТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Н. С. Береснев, В. Н. Поветко, К. В. Пядухова

АО «Концерн «Созвездие», Воронеж, Россия

**Аннотация.** В работе на основе анализа существующих исследований в области технического зрения и текстурного анализа показано, что применение фрактальных алгоритмов фильтрации значительно упрощает задачу поиска и классификации объектов неживой природы на изображениях. Проведено сравнение четырех используемых для этого алгоритмов. Определены задачи дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** фракталы, локальная фрактальная размерность, текстурный анализ, техническое зрение, задачи дальнейших исследований.

## APPLICATION OF FRACTAL PROCESSING ALGORITHMS FOR SELECTING AREAS WITH LOW-CONTRAST OBJECTS

N. S. Beresnev, V. N. Povetko, K. V. Pyadukhova

JSC "Concern "Sozvezdie", Voronezh, Russia

**Abstract.** Based on the analysis of existing research in the field of technical vision and texture analysis it was shown that the use of fractal filtering algorithms greatly simplifies the task of searching and classifying inanimate objects in images. Four filters applied for solution of this problem were compared. The problems of the further investigations were determined.

**Keywords:** fractals, local fractal dimension, texture analysis, technical vision, tasks for further research.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Использование стандартных алгоритмов фильтрации позволяет выделить контуры в том числе и замаскированных объектов, однако на полученных изображениях остается много контуров, которые сложно однозначно отнести к фону или к объекту [1]. Решение задачи удаления фона в данном случае можно рассматривать как задачу текстурной сегментации изображения, так как объекты живой природы и объекты человеческого происхождения имеют различные значения фрактальной размерности [2 - 4].

Целью работы является сравнительная оценка алгоритмов фрактальной фильтрации изображений для рассмотрения возможности их применения в технологиях ИИ.

### 2. СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ФРАКТАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

При рассмотрении алгоритмов фрактальной обработки изображений приходится говорить не о фрактальной размерности целого изображения, а о локальной фрактальной размерности части изображения [4 - 7]. Для этого исходное изображение обрабатывается скользящим окном фиксированного размера, а найденное значение фрактальной размерности, полученное любым из методов, присваивается центральной зоне рассматриваемого окна.

В ходе исследования способов фрактальной обработки изображения было найдено несколько различных методов получения значения фрактальной размерности.

Первый подход [4, 8, 9] предполагает использование исходных изображений (цветных или в оттенках серого), к которым можно применить различные фильтры (например, Превитта, Собела, Робертса [9]) для уточнения контуров объектов на изображении, и не требует их дальнейшей обработки перед применением алгоритмов нахождения локальной фрактальной размерности элементов изображения.

Второй подход [5 - 7] предполагает использование скелетизированных изображений, то есть тех монохромных изображений, контуры на которых прошли дополнительную пороговую обработку с целью их утоньшения без нарушения их целостности [9]. Такой подход требует больше вычислительных затрат, а наличие дополнительных параметров, отвечающих за уровни фона и объекта при двухуровневой фильтрации, существенно повлияют на результаты фрактальной обработки. На рисунке 1 представлено 2 примера двухуровневой обработки одного и того же изображения.

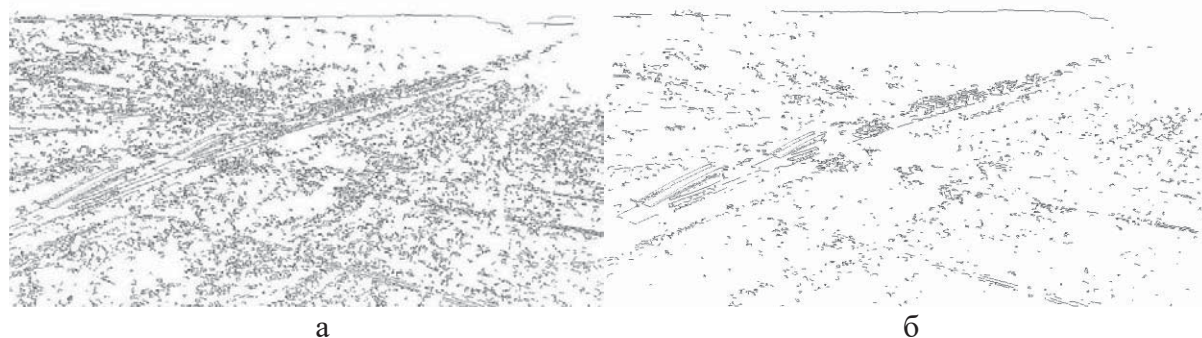


Рис.1. Пример возможных различий в сформированных монохромных изображениях

На рисунке 1 (а) представлена ситуация, при которой на скелетизированном изображении присутствует много контуров фоновых объектов, а на рисунке 1 (б) представлен результат двухуровневой фильтрации, при которой контуров фона практически не осталось.

В данной работе были рассмотрены следующие алгоритмы нахождения локальной фрактальной размерности:

1. Подсчет отношения массы к радиусу (mass-radius relation). Этот метод предполагает подсчет изменения числа клеток  $N(r)$  при изменении радиуса  $r$ . Модуль коэффициента угла наклона прямой, посчитанный методом линейной регрессии для логарифмов радиуса  $r$  и числа клеток  $N(r)$ , и есть фрактальная размерность [7, 9]. Однако, после проведения предварительного тестирования, было принято совместное решение преобразовать алгоритм так, чтобы производился подсчет «массы» интенсивности клеток  $L(r)$ , а не их числа, при изменении радиуса  $r$ .

2. Клеточный метод. Этот метод предполагает покрытие изображения сеткой с шагом  $\epsilon$ , подсчета сколько клеток  $N(\epsilon)$  содержит объект и повторение двух предыдущих действий для различных значений шага  $\epsilon$ . Модуль коэффициента угла наклона прямой посчитанный методом линейной регрессии для логарифмов шага сетки  $\epsilon$  и числа клеток  $N(\epsilon)$  и есть фрактальная размерность [5, 9].

3. Дифференциальный метод подсчета клеток. Этот метод является аналогом клеточного метода. Разница заключается в том, что для каждой клетки за  $N(\varepsilon)$  берется отношение разницы между максимумом и минимумом значения яркости внутри этой клетки к уровню серого  $L' = L \cdot G / M$ , где  $L$  – ширина сетки,  $G$  – максимальный уровень яркости (интенсивности),  $M$  – ширина изображения (рисунок 2) [9].

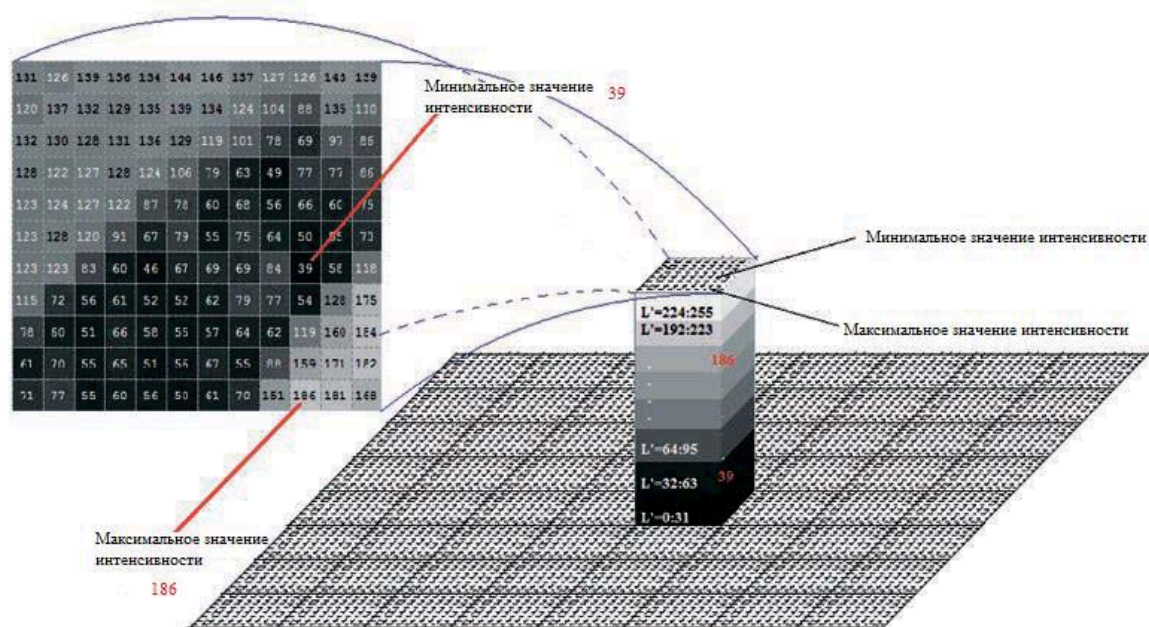


Рис.2. Разбиение трехмерного представления изображения на ячейки размером  $L \times L \times L'$

4. Метод триангуляции или пирамидальный метод. Этот метод предполагает разбиение изображения на ячейки и расчет верхней площади поверхности треугольных призм или площади поверхности пирамиды (рисунок 3). Рассматриваются четыре значения высоты, равные яркости (интенсивности) пикселей в углах ячеек, а также высота в месте пересечения диагоналей, значение которой равно максимуму из среднего арифметического четырех высот и значения интенсивности в центральной точке [6, 9]. Рассматриваемая проектируемая площадь представлена на рисунке 4.

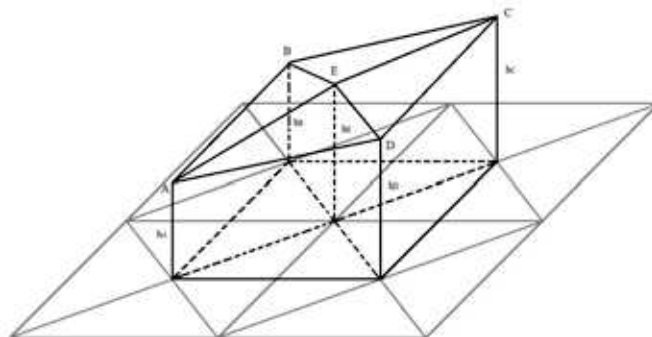


Рис. 3. Представление ячейки

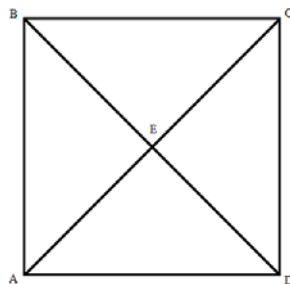


Рис. 4. Проектируемая площадь поверхности

### 3. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ФРАКТАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

В качестве исходных изображений для проведения сравнительного анализа использовались фотографии техники из открытых источников (рисунки 5 – 8).



Рис. 5. Колонна техники в лесостепной местности



Рис. 6. Замаскированная техника в лесостепной местности





Рис.7. Танки в пустынной местности



Рис.8. Колонна техники в пустынной местности

На рисунках 9 - 12 представлены результаты обработки изображений 5-8 соответственно.

На рисунках (а) представлены результаты обработки клеточным методом, на рисунках (б) – дифференциальным методом подсчета клеток, на рисунках (в) – модифицированным методом подсчета отношения массы к радиусу, на рисунках (г) – пирамидальным методом. Все полученные изображения построены с применением одинаковых параметров двухуровневой фильтрации (для клеточного метода) и одинаковыми (для каждого метода своими) параметрами преобразования матрицы локальной фрактальной размерности в представленное цветное изображение.



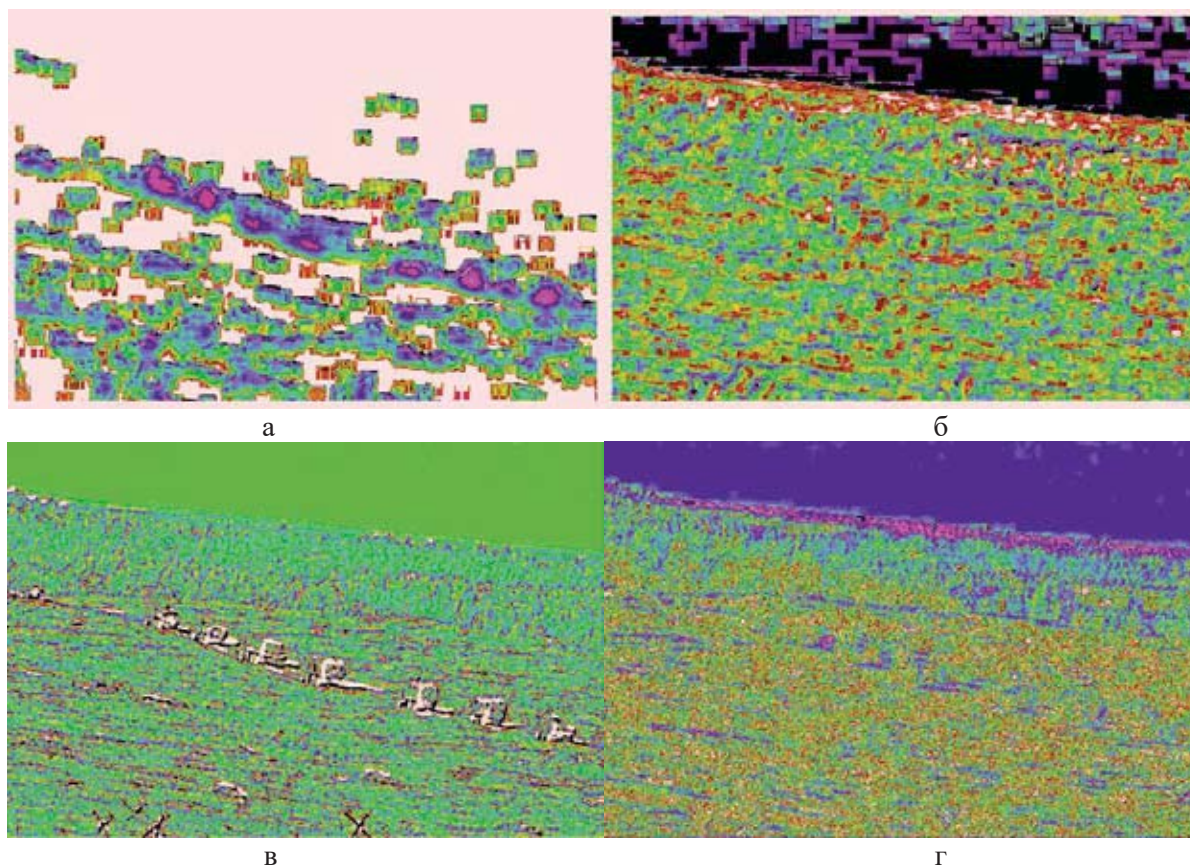


Рис.9. Результаты обработки изображения с колонной техники в лесостепной местности

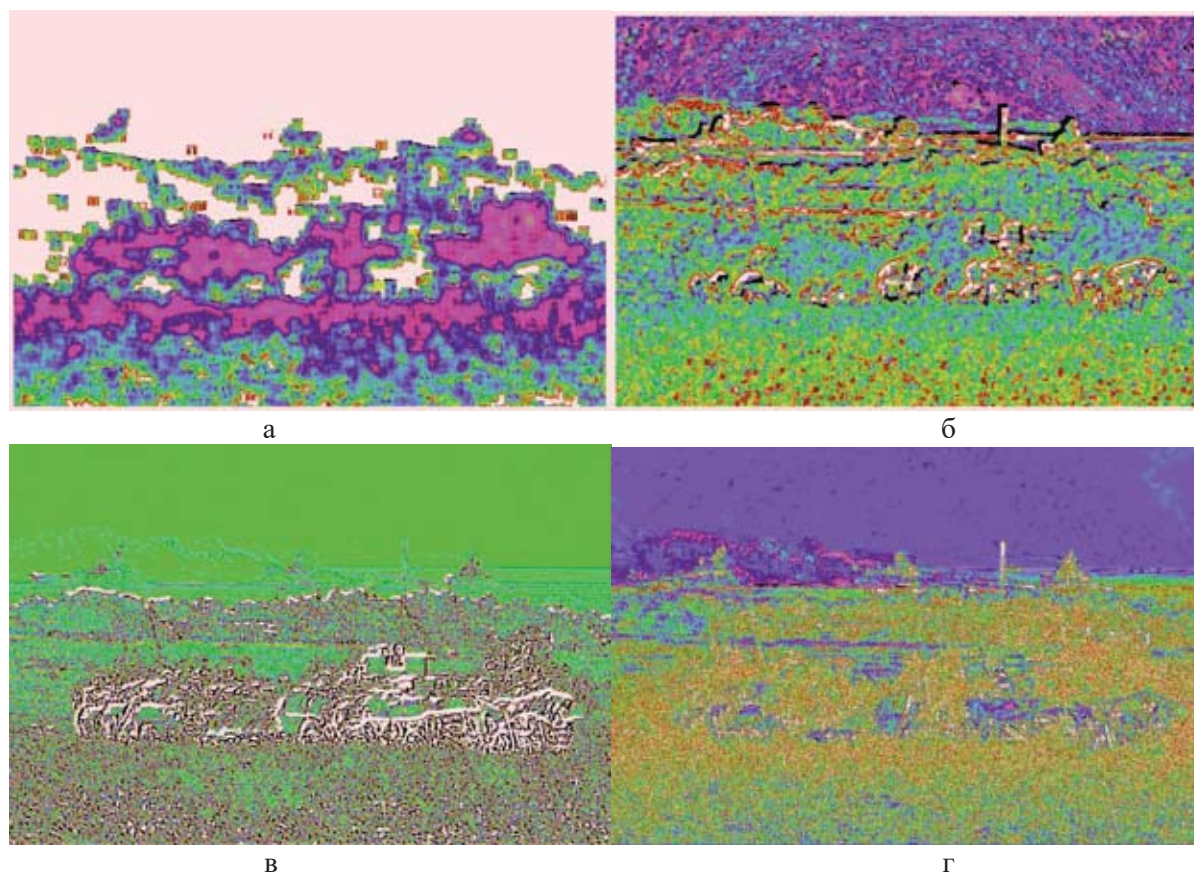


Рис.10. Результаты обработки изображения с замаскированной техникой



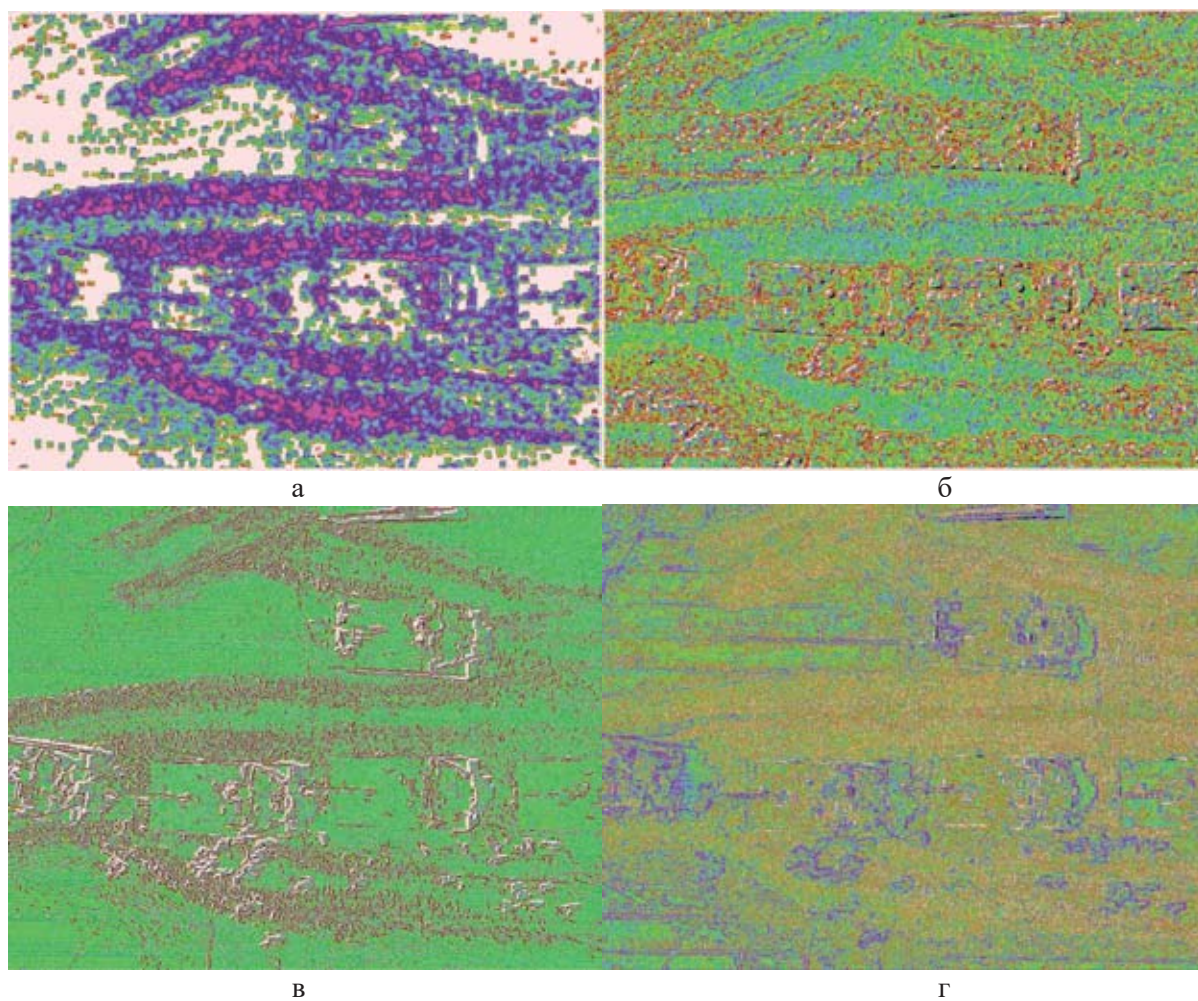


Рис.11. Результаты обработки изображения с танками в пустынной местности

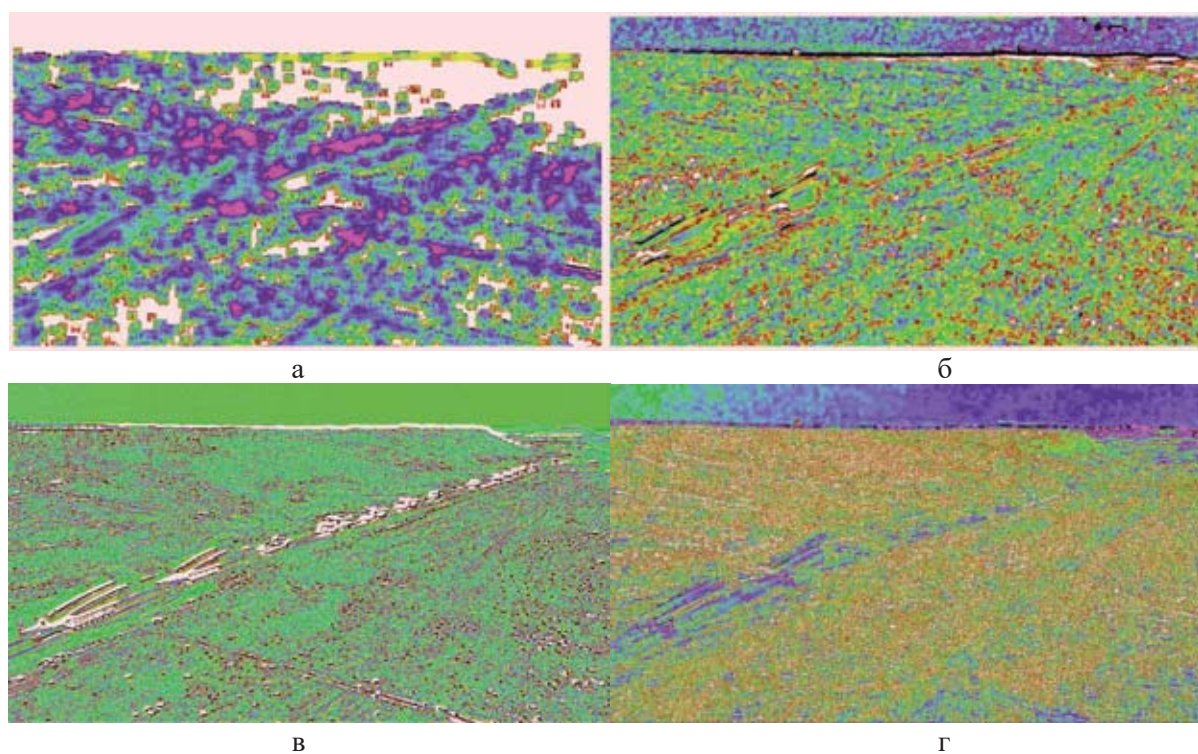


Рис.12. Результаты обработки изображения с колонной в пустынной местности

Клеточный и дифференциальный клеточный метод дают сравнимые результаты обработки. Предположение о наличии техники возможно лишь для рисунка 9 (а).

Пирамидальный метод позволил сделать предположение о наличии техники на рисунках 11 (г) и 12 (г).

Модифицированный метод подсчета отношения массы к радиусу (mass-radius relation) позволил сделать предположения о наличии объектов техники (в том числе и множественных) на всех представленных рисунках.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные алгоритмы нахождения локальной фрактальной размерности позволяют выделить области с объектами неживой природы. Модифицированный метод подсчета отношения массы к радиусу показал наилучший результат на качественном уровне.

Применение этого метода в технологиях компьютерного зрения является задачей для дальнейшего исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Береснев Н. С., Поветко В. Н., Пядухова К. В., Сенин П. С. Технология формирования инвариантных к состоянию среды признаков объектов на их изображениях // Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXVII Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию полетов в космос Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова (г. Воронеж, 29 сентября – 30 сентября 2021 г.): в 4 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн “Созвездие”». – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. Т. 1. С. 272 – 278.
2. Лапытова Н. В. Фрактальный анализ: учеб. пособие. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2020. – 120 с.
3. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. Москва: Постмаркет, 2000. – 352 с.
4. Потапов А. А., Гуляев Ю. В., Никитов С. А., Пахомов А. А., Герман В. А. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А. А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
5. Алиев М. В., Панеш А. Х., Каспарьян М. С. Выделение контуров на малоконтрастных и размытых изображениях с помощью фрактальной фильтрации // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-konturov-na-malokontrastnyh-i-razmytyh-izobrazheniyah-s-pomoschyu-fraktalnoy-filtratsii> (дата обращения: 07.02.2022).
6. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Фрактальные методы сегментации текстурных изображений // Приборостроение. 2013. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fraktalnye-metody-segmentatsii-teksturnyh-izobrazheniy> (дата обращения: 07.02.2022).
7. Keith C. Clarke. Computation of the fractal dimension of topographic surfaces using the triangular prism surface area method, Computers & Geosciences, V 12, I 5, 1986, P 713-722, URL: [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(86\)90047-6](https://doi.org/10.1016/0098-3004(86)90047-6) (дата обращения: 08.02.2022).
8. Шелухин О. И., Магомедова Д. И. Анализ методов измерения фрактальной размерности цветных и черно-белых изображений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-izmereniya-fraktalnoy-razmernosti-tsvetnyh-i-chno-belyh-izobrazheniy> (дата обращения: 08.02.2022).
9. Landini, G.; Murray P.I.; Misson G.P. Local connected fractal dimensions and lacunarity analyses of 60 degrees fluorescein angiograms. Investigative Ophthalmology & Visual Science. Vol 36, 1996. – P 2749–2755.
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с.



## REFERENCES

1. N. S. Beresnev, V. N. Povetko, K. V. Pyadukhova, and P. S. Senin, "Technology for the formation of environment-invariant features of objects in their images," Radar, Navigation, and Communications: Proceedings of the XXVII International Scientific and technical conference dedicated to the 60th anniversary of Yu.A. Gagarin and G.S. Titov (Voronezh, September 29 - September 30, 2021): in 4 volumes / Voronezh State University; JSC Concern Constellation. - Voronezh: VSU Publishing House, 2021. Vol. 1. – P. 272 - 278.
2. Lapytova N. V. Fractal analysis: a tutorial. - Izhevsk: Publishing Center "Udmurt University", 2020. - 120 p.
3. Kronover. RM Fractals and chaos in dynamical systems. Fundamentals of the theory. Moscow: Postmarket, 2000. - 352 p.
4. Potapov, A. A., Gulyaev, Yu. V., Nikitov, S. A., Pakhomov, A. A., German, V. A. The latest methods of image processing / Ed. A. A. Potapov. M.: FIZMATLIT, 2008. – 496 p.
5. Aliev M. V., Panesh A. Kh., Kasparyan M. S. Selection of contours on low-contrast and blurry images using fractal filtering // Bulletin of the Adygei State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-konturov-na-malokontrastnyh-i-razmytyh-izobrazheniyah-s-pomoschyu-fraktalnoy-filtratsii> (date of access: 02/07/2022).
6. Fisenko V. T., Fisenko T. Yu. Fractal methods for segmentation of texture images // Instrumentation. 2013. No. 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fraktalnye-metody-segmentatsii-teksturnyh-izobrazheniy> (date of access: 02/07/2022).
7. Keith C. Clarke. Computation of the fractal dimension of topographic surfaces using the triangular prism surface area method, Computers & Geosciences, Vol 12, 1986. – P 713-722, URL: [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(86\)90047-6](https://doi.org/10.1016/0098-3004(86)90047-6) (date of access: 02/08/2022).
8. Shelukhin O. I., Magomedova D. I. Analysis of methods for measuring the fractal dimension of color and black-and-white images // Science-intensive technologies in space research of the Earth. 2017. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-izmereniya-fraktalnoy-razmernosti-tsvetnyh-i-chno-belyh-izobrazheniy> (date of access: 02/08/2022).
9. Landini, G.; Murray P.I.; Misson G.P. "Local connected fractal dimensions and lacunarity analyzes of 60 degrees fluorescein angiograms". Investigative Ophthalmology & Visual Science. Vol 36, 1996. - P 2749-2755.
10. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. Moscow: Technosfera, 2012. - 1104 p.