

# Фрактальный анализ изображений морских льдов

С.Е. Яцевич<sup>1</sup>, В.К. Иванов<sup>1</sup>, В.Б. Ефимов<sup>2</sup>, В.Н. Цымбал<sup>2</sup>, Р.Э. Пащенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины  
61085 Харьков, Проскуры 12  
E-mail: sey@ire.kharkov.ua*

<sup>2</sup>*Центр радиофизического зондирования земли им. А.И. Калмыкова НАН и НКА Украины,  
61085 Харьков, Проскуры 12*

<sup>3</sup>*Университет воздушных сил им. Ивана Кожедуба  
61023 Харьков, Сумская 77/79*

Рассматривается возможность применения фрактального анализа для обработки изображений морских льдов. На основе фрактальных методов анализа радиолокационных изображений (построения поля фрактальных размерностей и селективных изображений) показана возможность выделения границы лед-вода и вода-суша. Кроме того, на морской поверхности были выявлены завихрения в прибрежной зоне, вызванные, скорее всего особенностями течения в данном районе. Для создания поля фрактальных размерностей изображений разработана специальная программа, которая позволяет выделять характерные кластеры фрактальных размерностей и отображать их определенным цветом. Использование фрактального анализа позволяет определять границу лед-море, а также может применяться при разработке безопасных маршрутов судов в арктических морях.

## Введение

В настоящее время при решении задач дистанционного зондирования Земли используется широкий комплекс технических средств наблюдения, работающих в различных диапазонах длин волн: спутниковые и самолетные системы, а также системы наблюдения наземного и морского базирования. Информация, получаемая с помощью таких систем, представляется в виде отдельных или последовательных во времени изображений местности – кадров, которые в дальнейшем подвергаются обработке и анализу с целью извлечения информации об объектах отобразившихся на изображениях [1].

Одной из центральных задач дистанционного зондирования Мирового Океана является задача мониторинга ледяного покрова Земли. В полярных бассейнах растут перевозки грузов, расширяется рыбный промысел, геологические и другие работы. В связи с этим особо актуальным становится получение оперативной информации об фактических условиях ледовой обстановки и прогноз ее изменения, необходимые для обеспечения безопасности мореплавания. Большое практическое значение представляет информация о границе лед-вода. Определение границы многолетних льдов и открытой воды в холодный период года, как правило, не вызывает затруднений. Однако, некоторые трудности возникают при определении границы море-лед на открытых акваториях при достаточно развитом волнении. Радиолокационные контрасты на границе лед-вода могут быть неоднозначными, поэтому при интерпретации радиолокационного изображения необходимо учитывать дополнительные данные.

Для решения задач анализа изображений широко применяются визуальные [2], спектральные [3] и контурно-текстурные [4] методы. Целью этих методов в большинстве случаев является сегментация изображений. Основным методом обработки аэрокосмических изображений является визуальный метод. При этом приходится анализировать обширный объем данных в виде фото- и видео- материала, что приводит к низкому темпу обработки информации.

Последние исследования показали возможность применения теории фракталов для решения задач дистанционного зондирования Земли [5, 6]. При описании различных типов подстилающих поверхностей на изображении, они рассматриваются как объединение областей характеризующихся конкретным дробным числом ( $2 \leq D \leq 3$ ), носящим название фрактальная размерность.

Отличительной особенностью фрактальной размерности является то, что она характеризует степень заполнения пространства в которой существует фрактальная система. Большому значению фрактальной размерности соответствует большая степень заполнения изображения (его трехмерного представления). Для совершенно черного изображения фрактальная размерность будет равна  $D = 2$ , т.е. совпадать с топологической размерностью плоскости, а для изображения имеющего одинаковую яркость всех пикселей –  $D = 3$  (топологическая размерность объема). Изображения в градациях серого будут иметь дробную фрактальную размерность.

### Методы фрактального анализа обработки изображений морских льдов

Рассмотрим возможность применения фрактальных методов анализа (построения поля фрактальных размерностей и селективных изображений) для обработки изображений морских льдов. Пример наблюдения границы лед-вода в Норвежском море представлен на рис. 1а. Размер изо-

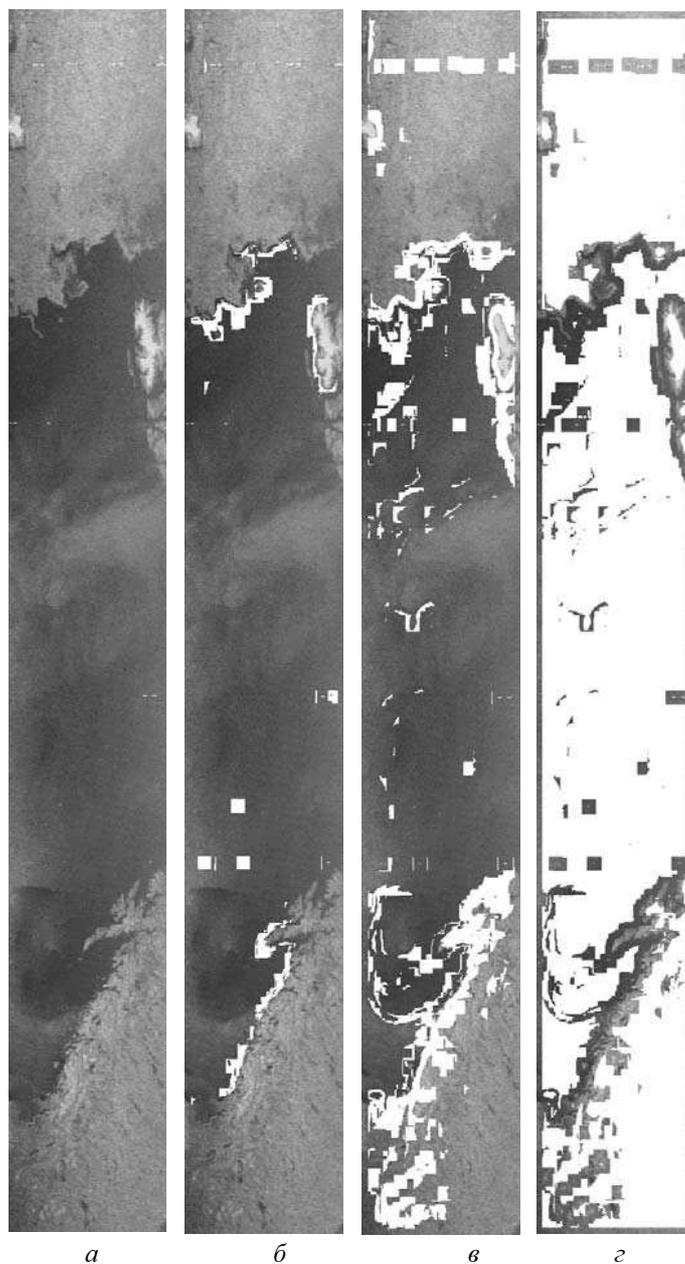


Рис. 1. Радиолокационное изображение (а) Норвежского моря (ИСЗ "СИЧ-1") и селективные изображения:  $D = 2,7 - 2,8$  (б),  $D = 2,8 - 2,9$  (в),  $D = 2,9 - 2,995$  (г)

бражения составлял 193x1440 пикселей. Для создания поля фрактальных размерностей изображений разработана специальная программа, которая позволяет выделять характерные кластеры фрактальных размерностей и отображать их определенным цветом. При последовательной радиолокационной съемке из космоса информация о положении кромки лед-вода может быть использована для контроля зон распространения дрейфующих льдов в Арктическом бассейне.

На рис. 1б-г показаны селективные изображения, соответствующие следующим диапазонам значений фрактальных размерностей:  $D = 2,7 - 2,8$  (б),  $D = 2,8 - 2,9$  (в),  $D = 2,9 - 2,995$  (г). Селективные изображения построены при использовании программы фрактального анализа аэрокосмических изображений для "скользящего окна" размером 8x8 пикселей. Как видно из рис. 1 применение фрактального анализа для обработки исходного радиолокационного изображения позволило четко выделить границы лед-вода и вода-суша. Кроме того, на морской поверхности были выявлены завихрения в прибрежной зоне (рис. 1в), вызванные скорее всего особенностями течения в данном районе.

Для определения границ лед-море, море-суша также можно использовать строчный анализ фрактальных размерностей исходного изображения. При этом выбирается "окно" соответствующего размера, в котором вычисляется фрактальная размерность, одним из описанных выше методов. Далее с помощью данного "окна" осуществляется сканирование всего изображения по ширине с шагом  $s=1$ . Количество значений фрактальных размерностей в строке будет равно размеру изображения по ширине минус размер "скользящего окна". На рис. 2а показано исходное изображение и пять характерных сечений (строки: 120, 315, 600, 1050, 1200) для которых проводился анализ изменения фрактальной размерности с использованием "скользящего окна" размером 16x16 пикселей.

На рис. 2б изображено построчное изменение фрактальной размерности для пяти характерных сечений. Строка 120 соответствует изображению ледового покрова при наличии тороса в левой части. Изменение фрактальной размерности в этой строке (верхняя кривая рис. 2б) показывает, что фрактальная размерность, рассчитанная в "окнах" попадающих на торос уменьшается до величины  $D=2,84$ , в то время как среднее значение фрактальной размерности ледовой поверхности составляет приблизительно  $D=2,93$ . Изменение фрактальной размерности второго характерного сечения (вторая с верха кривая рис. 2б) позволяет выделить границу лед-вода. Этому состоянию соответствует 96 точка в 315 строке, в которой достигается минимум фрактальной размерности  $D_{\min} = 2,75$ . Анализ изменения фрактальных размерностей в 600 строке (третья с верха кривая рис. 2б) показывает, что изображение морской поверхности также имеет некоторые особенности, обусловленные скорее всего неоднородностью течения (левая часть кривой). По величине колебания фрактальной размерности можно оценить степень неоднородности. В то же время, правая часть изображения (после сотой точки) в этой строке, можно предположить, соответствует однородной морской поверхности, так как диапазон изменения фрактальной размерности составляет  $\Delta D = 0,02$ . Две нижние кривые на рис.2б (1050 и 1200 строки) иллюстрирует процесс изменения фрактальных размерностей при смещении границы море-берег. Сравнение этих кривых показывает, что минимальная фрактальная размерность, соответствующая границе море-берег, смещается влево с точки 112 строки 1050 до точки 71 строки 1200. На исходном радиолокационном изображении видно, что береговая черта смещается справа на лево, что соответствует перемещению  $D_{\min}$ .

Одной из задач, которую также можно решать с использованием теории фракталов, является обработка изображений при проведении ледовой разведки в Арктике и Антарктике. На рис. 3а показано радиолокационное изображение, которое использовалось при проведении спасательной операции экспедиционного судна "М.Сомов" в Антарктике. С помощью данного изображения был найден проход во льдах для выхода судна на "большую воду".

Обработаем исходное изображение с использованием программы фрактального анализа аэрокосмических изображений. На рис. 3б, в показаны селективные изображения, построенные с по-

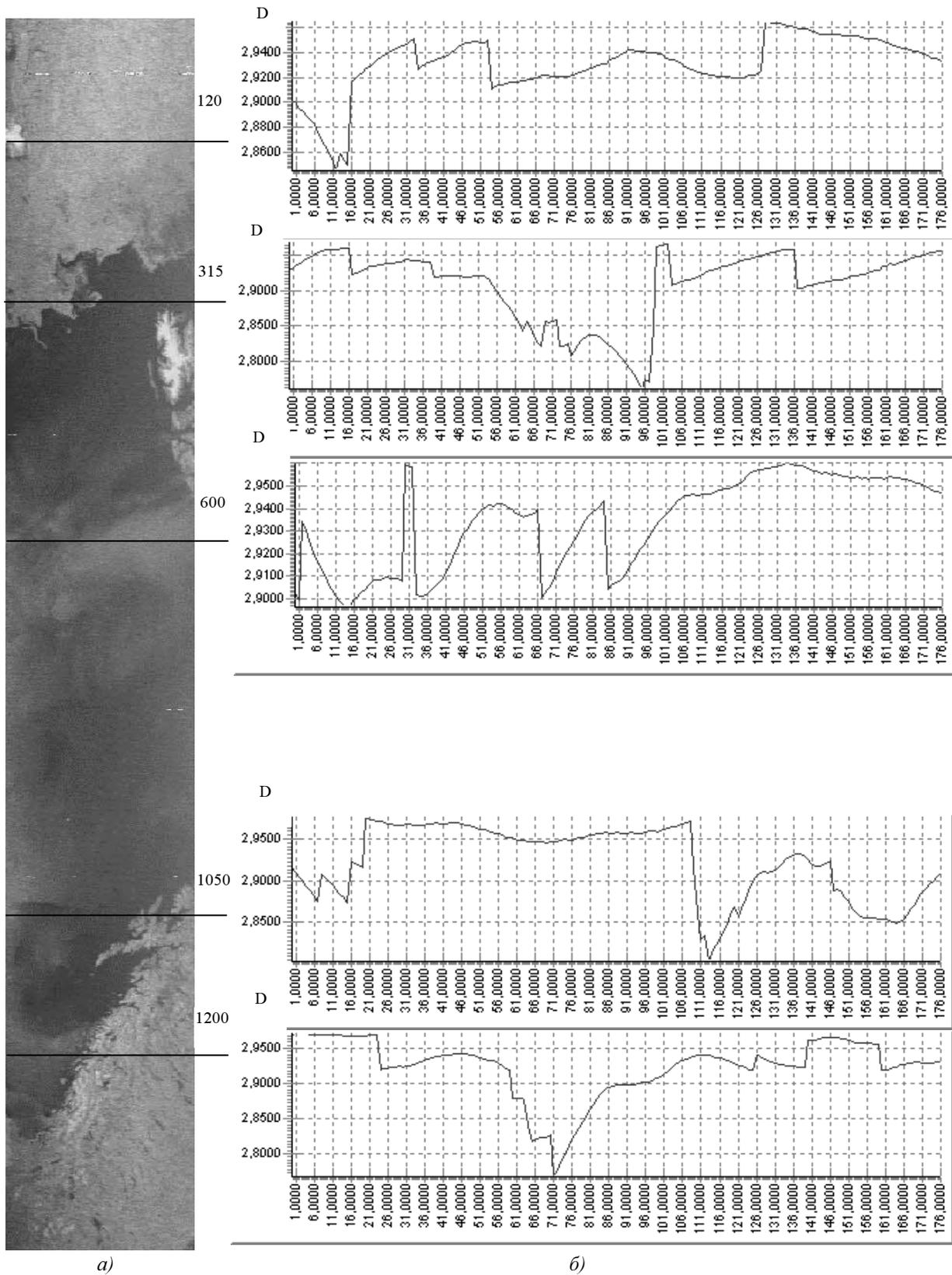


Рис. 2. Исходное изображение (а) и построчное изменение фрактальной размерности (б)

мощью "скользящего окна" размером 8x8 пикселей. На селективном изображении диапазона фрактальных размерностей  $D=2,7-2,8$  (рис. 3б) проход во льдах непосредственно выделен белым цветом, а на рис. 3, в этот проход выделяется за счет селекции (обозначения белым цветом) ледовой поверхности, т.е в этом случае проход во льдах выделяется опосредовано.

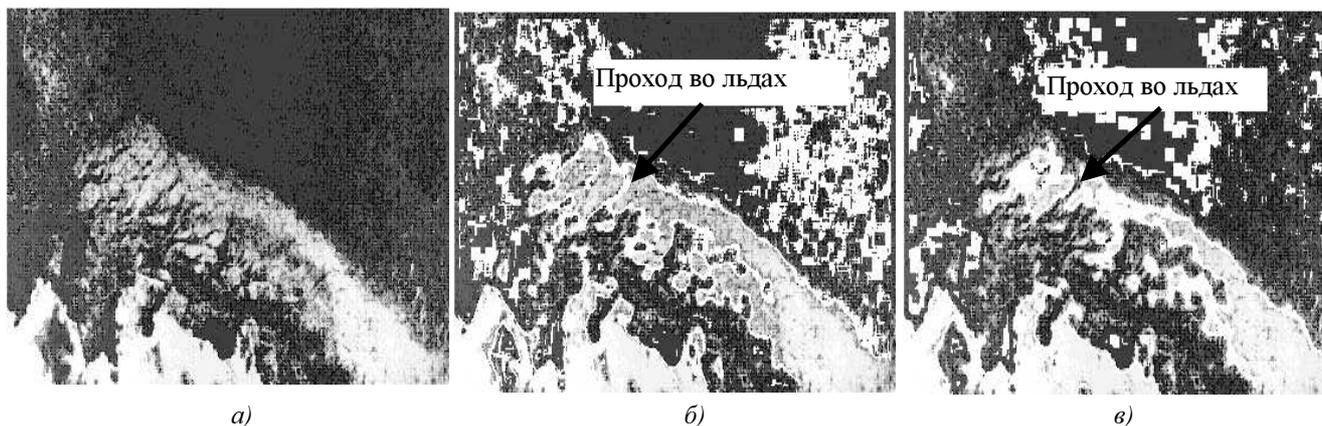


Рис. 3. Радиолокационное изображение (а), которое использовалось при проведении спасательной операции экспедиционного судна "М.Сомов" в Антарктике, и селективные изображения:  $D = 2,7 - 2,8$  (б),  $D = 2,8 - 2,9$  (в)

### Выводы

Использование методов фрактального анализа радиолокационных изображений (построение поля фрактальных размерностей и селективных изображений) позволило определить границу лед-море, море-суша.

Применение квантования диапазона полученных значений фрактальных размерностей позволило осуществить предварительное сегментирование анализируемого изображения путем выделения кластеров заданного диапазона значений фрактальных размерностей.

Строчный анализ фрактальных размерностей исходного изображения может использоваться для оценки степени неоднородности морской поверхности и выделить границы лед-море, море-берег.

Фрактальный анализ изображений может применяться при разработке безопасных маршрутов судов в арктических морях.

### Литература

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Сканэкс, 1997. – 296 с.
2. Аксютов 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., Колесников А.И., Орлова Т.И., Хлявич Я.Л. О классификации изображений по их текстурным признакам // Исследование Земли из Космоса. – 1990. – №2. – С. 91 – 96.
5. Потапов А.А. Фракталы в дистанционном зондировании // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – №6. – С. 3 – 65.
6. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов. Коллективная монография / Под ред. Р.Э. Пащенко. – Харьков: ХООО "НЭО "ЭкоПерспектива", 2006. – 348 с.