

Исследование фрактальной размерности черно-белых поверхностей в программе ImageJ

У.В. Зотова

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. В настоящее время использование фрактальной геометрии играет важную роль в моделировании и понимании различных процессов и структур в нефтегазовой отрасли. Она применяется во множестве областях. Фрактальное моделирование в пористых средах позволяет более реалистично описать эту структуру, включая распределение пор по размерам, извилистости пор и их взаимодействие. Также такие модели помогают лучше оценить проницаемость, учитывая сложную геометрическую структуру порового пространства, с точки зрения нефтегазового производства. В геолого-геофизических исследованиях анализ фрактальных характеристик трещин помогает в интерпретации геологических структур, а с помощью фрактальных методов выявляют зоны повышенной пористости и трещиноватости, определяют геологическую проницаемость различных пород. Они приведены в статье Д.И. Хасанова и М.А. Лоншакова [1]. В геологическом моделировании фрактальные алгоритмы используются для создания трехмерных моделей геологических структур. Такие модели исследуются в статье Р.К. Халкечева [2]. В разработке месторождений фрактальные модели используются для моделирования течения нефти, воды и газа установлением связи между фрактальными характеристиками структуры пор и проницаемостью керна. Данной проблеме посвящена диссертация А.В. Блонского [3]. При исследовании пород возникает проблема верификации результатов, полученных фрактальными методами. Полученные данные зависят от таких факторов, как освещенность поверхности, контрастность объектов, структура и физико-химическое строение исследуемых пород. Для выявления закономерностей была проведена работа по изучению влияния указанных параметров на примере модельных систем.

Цель — исследовать зависимость фрактальной размерности в программе ImageJ от геометрического расположения, освещенности, размера и формы фрактальных элементов, цвета, контрастности.

Методы. Исследование фрактальной размерности проводилось с использованием программы ImageJ методом «Box-counting». Этот метод оценивает, как изменяется количество «коробок» минимального размера, необходимых для покрытия объекта, при уменьшении их размера. Фрактальная размерность рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{\log(N(\varepsilon))}{\log\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)}, \quad (1)$$

где $N(\varepsilon)$ — количество «коробок», (ε) — размер «коробок».

Результаты. Фрактальная размерность определялась методом фотографирования с последующей обработкой в программе ImageJ [4]. Был сфотографирован белый квадрат 10×10 см (размер пикселей 381×381), таким же методом сфотографирован черный квадрат размером 10×10 см. Далее изменялись площади черного квадрата, их расположение на белом квадрате (рис. 1), цвет квадратов (рис. 2), контраст и яркость фотографий. У всех полученных фигур нашли площадь и периметр, в программе ImageJ определили фрактальную размерность. После обработки результатов были построены полученные графики зависимостей (рис. 3). Графики показали, что фрактальная размерность не зависит от цвета квадратов, контраста и яркости фотографий. Данные показатели влияют лишь на визуальное восприятие. При изменении данных параметров пиксели становятся светлее или темнее, что сказывается на четкости границ помещенной фигуры. График зависимости фрактальной размерности от периметра показал, что периметр не особо влияет на показатель фрактальности, а изменение площади фигуры влияет. С увеличением площади заполнения фрактальная размерность возрастает.

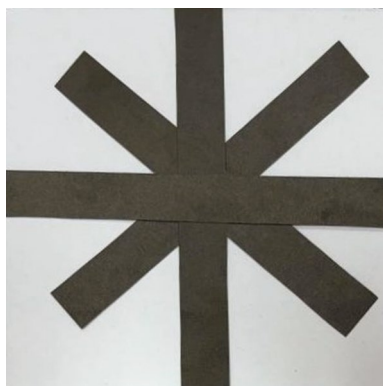


Рис. 1. Четыре прямоугольника размером 1,25×10 см

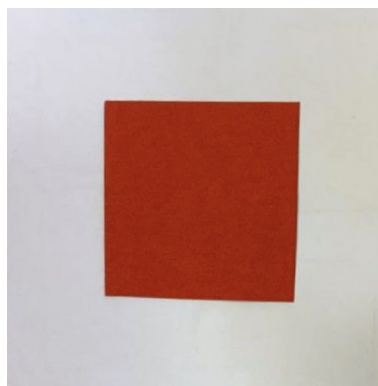


Рис. 2. Красный прямоугольник размером 5×5 см

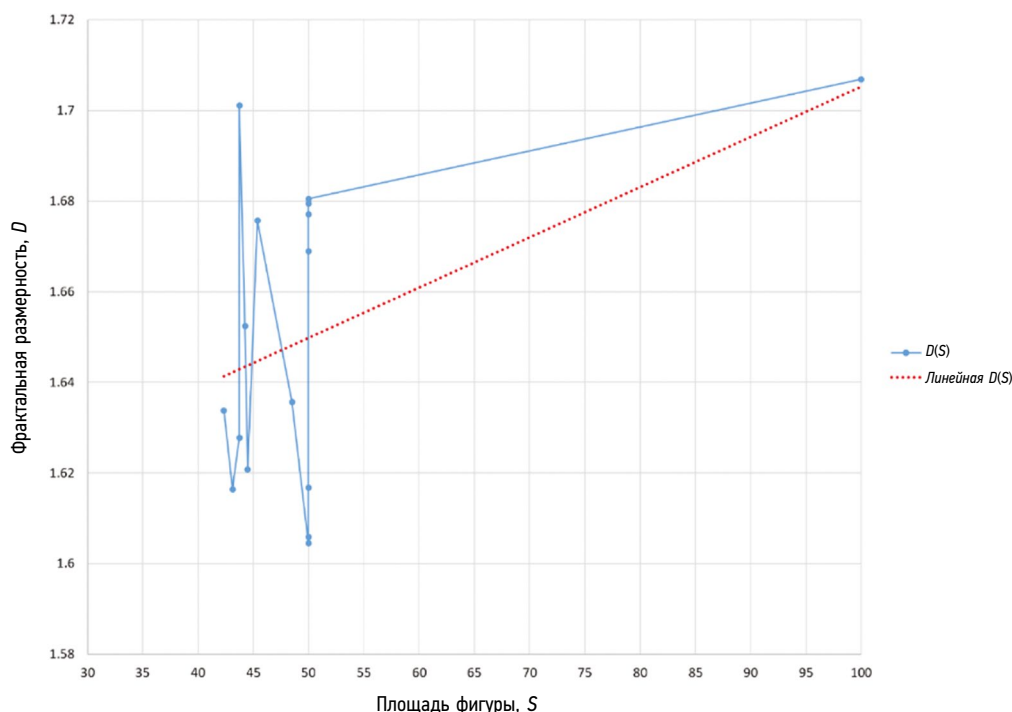


Рис. 3. Зависимость фрактальной размерности от площади фигуры

В связи с тем, что площадь заполнения черными фигурами белых поверхностей сильно влияет на фрактальную размерность, то критическим становится выбор размера пор на фотографии и определение ее контрастности. Этот выбор будет определять площадь просветности геологических пор в породе, а площадь в свою очередь определяет фрактальную размерность. Поэтому в каждом конкретном случае нужно выбирать контрастность в зависимости от конкретного образца.

Исследование проводилось и в другой программе, такой как Gwyddion, результаты получались подобными. Программа ImageJ оказалась более удобной, поэтому остановились на ней.

Выводы. Фрактальная размерность поверхности горной породы не зависит от расположения пор, трещин, цвета породы, периметра отдельных пор или трещин. Учитывается только ее формальная площадь. Фрактальная размерность зависит от степени заполнения поверхности и фактически не зависит от периметра заполняющих структур.

Ключевые слова: фрактальная размерность; степень заполнения; нефть; пласт; коллектор.

Список литературы

1. Хасанов Д.И., Лоншаков М.А. Исследование масштабного эффекта пористости в образцах известняков башкирского яруса // Известия Саратовского университета. 2021. Т. 21, № 3. С. 209–217. doi: 10.18500.1819-7663-2021-21-3-209-217 EDN: ODVILT

2. Халкечев Р.К. Теоретические основы мультифрактального моделирования функциональных задач автоматизированной системы научных исследований физических процессов горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 8. С. 136–142. EDN: UIWSQF
3. Блонский А.В. Математическое моделирование течений в системах трещин. Москва, 2019. 99 с. EDN: LAGKBD
4. Практическое руководство по работе с изображениями в ImageJ. Режим доступа: <https://temchromatinlab.wordpress.com/базовые-термины/> Дата обращения: 01.07.2025.

Сведения об авторе:

Ульяна Валерьевна Зотова — студентка, группа 4-ИНГТ-108, институт нефтегазовых технологий; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: ulanazotova18@mail.ru

Сведения о научном руководителе:

Альфинур Джавдятовна Хуснутдинова — ассистент; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия.
E-mail: pushchinchigym@yandex.ru