

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛОМНОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ДАННЫМ КОСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ КАРТЫ

П.С. Долгий

кафедра геодезии и ГИС факультета информационных технологий
Полоцкого государственного университета, Новополоцк, p.dolgi@psu.by

Г.А. Шароглазова

заведующий кафедрой геодезии и ГИС Полоцкого государственного университета, Новополоцк

Статья посвящена оценке фрактальной размерности (степени самоподобия) сети линейных разломов на территории Республики Беларусь. В качестве исходных данных взята космотектоническая карта Беларуси (по Гарецкому, Каратаеву и др.). В исследовании использованы ГИС-технологии (программный комплекс QGIS) и программирование (математические библиотеки языка Python). Оценка выполнена путем наложения регулярных сеток с различным шагом и подсчета количества ячеек, покрывающих исследуемую структуру. Аппроксимация полученных значений выполнена в двойном логарифмическом масштабе линейной полиномиальной функцией. В результате сделаны выводы о степени самоподобия разломов на территории Беларуси и степени изрезанности территории сетью.

Ключевые слова: самоподобие; фрактал; фрактальная размерность; разломная сеть; космотектоническая карта.

В настоящее время наблюдается обновление взглядов на классическую науку под влиянием идей нелинейной науки: теорий динамических систем, фракталов, синергетики. Особенно прочно эти идеи проникли в науки о Земле.

Много работ [1–2] посвящено исследованиям самоподобия структур литосферы различного масштаба (литосферных плит, блоков, микроблоков); распределения сейсмичности в пространстве и проявления его во времени. Ввести количественные характеристики самоподобия позволяет применение теории фракталов – объектов, в которых каждая часть множества несет информацию о целом [1].

Цель данной работы – оценить фрактальную размерность сети тектонических разломов на территории Беларуси.

В качестве исходных данных использована космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000, полученная на основе изучения синтетических космоизображений, а также комплексных геолого-геофизических материалов в рамках работы Р.Г. Гарецкого, Г.И. Каратаева, Р.Е. Айзберга, А.К. Карабанова, А.А. Святогорова [3].

В общем виде закон делимости описывается степенным соотношением вида:

$$N \sim L^{-\alpha}; \quad (1)$$

где N – количество блоков; L – их размер; α – параметр распределения.

Согласно методике, описанной в работе [1], исследуемую структуру покрывают регулярной сеткой со стороной, равной δ , после чего подсчитывают коли-

чество ячеек, покрывающих структуру. Для диапазона значений, в которых выполняется пропорциональность

$$N \sim \delta^{-D}; \quad (2)$$

где N – количество ячеек сетки, покрытых исследуемой структурой, δ – длина стороны сетки, показатель степени является оценкой фрактальной размерности D исследуемой структуры.

Чаще всего зависимость строится в двойном логарифмическом масштабе:

$$\lg(N) = f(\lg(\delta)); \quad (3)$$

Затем исследуемую область аппроксимируют прямой линией методом наименьших квадратов:

$$\lg(N) = -D \lg(\delta) + a, \quad (4)$$

где a – постоянная. Тангенс угла наклона графика является размерностью D .

Пространственный анализ разломной сети выполнен в программном продукте QGIS 3.4. Разломы переведены в векторный вид, после чего покрыты набором регулярных сеток с различным размером ячейки: от 1 до 24 км. При помощи операции «Пространственное соединение», отобраны только те ячейки, которые перекрывают разломную сеть (рисунок 1).

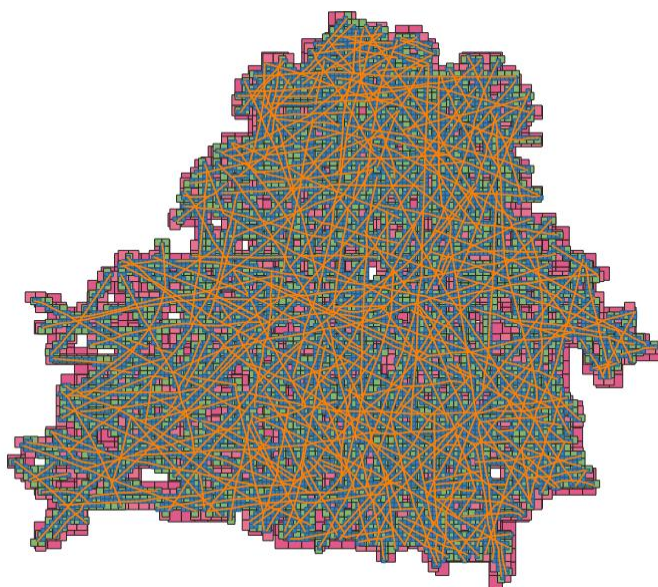


Рисунок 1 – Разломная сеть Беларуси по [3], покрытая набором регулярных сеток с различными размерами ячеек

Дальнейшая обработка выполнена в среде Jupyter с помощью библиотек научных вычислений языка Python 3.4.4 Numpy, SciPy и Matplotlib. Сформировав массивы исходных данных (класс `numpy.array`), вычисляем десятичный логарифм каждого элемента.

Создаем список аргументов для построения графиков моделей:

```
In [126]: fx = sp.linspace(x[0]-0.1, x[-1]+0.1, 1000)
```

Получаем параметры модели для полинома и создаем объект f функции-полинома:

```
In [127]: fp, residuals, rank, sv, rcond = sp.polyfit(x, y, 1, full=True)
          f = sp.poly1d(fp)
```

Передавая полученный ранее список аргументов в функцию-полином, выполняем отрисовку данной функции в предварительно настроенных осях координат изображения `matplotlib` (рисунок 2). С помощью свойства `coeffs` объекта функции получаем коэффициенты уравнения и отображаем первый из них (старший член) в качестве подписи к графику.

В результате получаем уравнение аппроксимирующей прямой:

$$\lg(N) = 1.39 \lg(\delta) + 5.02 \quad (5)$$

Таким образом, значение фрактальной размерности D равно 1,39.

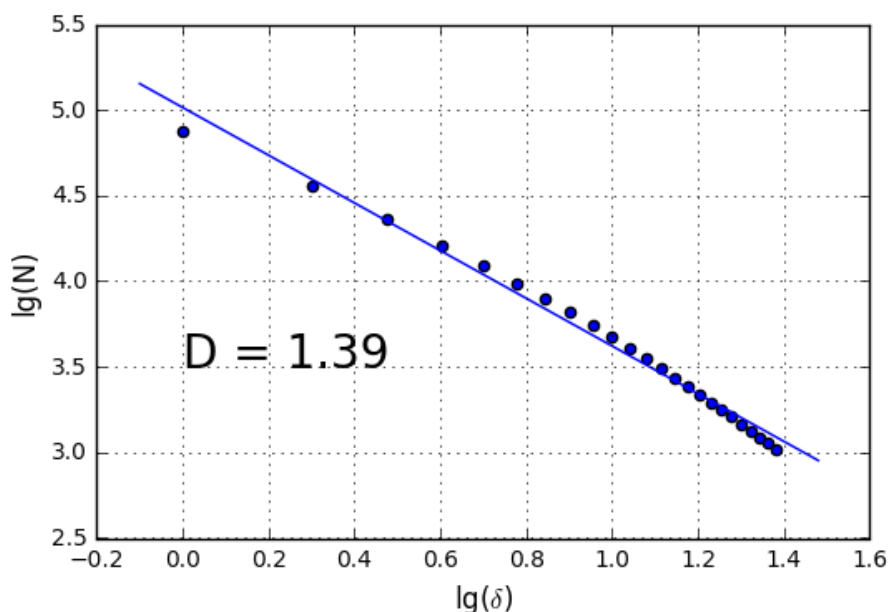


Рисунок 2 – Зависимость количества ячеек, покрывающих разломную сеть от масштаба рассмотрения и прямая, её аппроксимирующая

Тот факт, что полученная нами фрактальная размерность лежит в промежутке от 1 до 2, говорит о безусловном существовании самоподобия сети и о средней степени изрезанности территории Беларуси разломной сетью [1]. На графике (рисунок 2) можно заметить некоторое изменение крутизны графика в районе δ , равного 13 км, что говорит об изменении фрактальной размерности в более крупных масштабах рассмотрения. Наибольшее доверие вызывают масштабы рассмотрения мельче 13 км, т.к. крупная сетка покрывает разломную сеть практически полностью.

Дальнейшие исследования планируется выполнять с привлечением других степенных законов, учитывающих, в частности, длину разломов; включением в набор исходных данных также обозначенные на космоктонической карте кольцевые структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Захаров В.С. Самоподобие структур и процессов в литосфере по результатам фрактального и динамического анализа // Диссертация на соискание степени д. г.-м. н, 2014, МГУ.
2. Макаров П.В. Об иерархической природе деформации и разрушения твердых тел и сред // Физическая мезомеханика. 2004. № 7. С. 25–34.
3. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Айзберг Р.Е., Карабанов А.К., Святогоров А.А. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000: создание и результаты // Літасфера. 2013. № 1. С. 3–30.