

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пермское отделение межрегиональной общественной организации  
«ЕВРО-АЗИАТСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Сборник  
научных трудов

Выпуск 2 (7)



Пермь 2019

УДК 550.83  
ББК 26.3242  
Т337

*Главный редактор:* д-р техн. наук, проф. **В. И. Костицын**

**Теория** и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов / гл. ред. Т337 В. И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – 361 с.

ISBN 978-5-7944-3191-9

ISBN 978-5-7944-3371-5 (вып. 2 (7))

Сборник научных трудов подготовлен по материалам VII международной научной-практической конференции «Теория и практика разведочной и промышленной геофизики». Представлен широкий спектр исследований в области современной сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, петрофизики и геофизических исследований скважин.

**УДК 550.83**  
**ББК 26.3242**

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

д-р геол.-мин. наук, проф. **А. Е. Абетов** (Казахстан); д-р тех. наук, проф. **В. А. Гершанок**; д-р физ.-мат. наук **А. С. Долгаль**; PhD, доц. **О. Н. Ковин**; д-р физ.-мат. наук, проф. **И. Н. Корчагин** (Украина); канд. тех. наук, доц. **Г. А. Шароглазова** (Беларусь); канд. тех. наук, доц. **А. В. Шумилов**; д-р физ.-мат. наук, проф. **М. Н. Юдин**

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:** д-р тех. наук, проф., лауреат премии Правительства РФ **В. Н. Конешов** (Институт физики Земли РАН); **В. М. Неганов** (ПАО «Пермнефтегеофизика»)

ISBN 978-5-7944-3191-9

© ПГНИУ, 2019

ISBN 978-5-7944-3371-5 (вып. 2 (7))

*На лицевой стороне обложки:* заведующие кафедрой геофизики А. К. Маловичко (1954–1989) и Р. П. Савелов (1989–1995)

*На обратной стороне обложки:* коллектив кафедры геофизики ПГНИУ и юбиляры кафедры

УДК 551.243

П. С. Долгий

Полоцкий государственный университет. 211440, Беларусь,  
г. Новополоцк, ул. Блохина, д. 29; e-mail: p.dolgi@psu.by

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

***Аннотация.** Статья посвящена оценке фрактальной размерности 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 и программирование.*

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

P. S. Dolhi

Polotsk State University. 29 Blokhin Str., Novopolotsk 211440, Belarus;  
e-mail: p.dolgi@psu.by

**FRactal ANALYSIS OF THE Fault NETWORK  
ON THE TERRITORY OF BELARUS BASED  
ON COSMOTECTONIC MAP DATA**

***Abstract.** The article presents the results of evaluation of the fractal dimension of the linear fractures network on the territory of the Republic of Belarus. The cosmotectonic map of Belarus was used as the initial data. GIS technologies and programming were used in the research.*

***Key words:** self-similarity, fractal, fractal dimension, fracture network, cosmotectonic map.*

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 [2, 3 и др.] посвящено исследованиям самоподобия структур литосферы различного масштаба (литосферных плит, блоков, микроблоков); распределения сейсмичности в пространстве и проявления его во времени. Ввести количественные характеристики самопо-

добия позволяет применение теории фракталов – объектов, в которых каждая часть множества несет информацию о целом [2].

Цель данной работы – оценить фрактальную размерность сети тектонических разломов на территории Беларуси. В качестве исходных данных взята 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 [1].

В общем виде закон делимости описывается степенным соотношением вида

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

где  $N$  – количество блоков;  $L$  – их размер;  $\alpha$  – параметр распределения.

Согласно методике, описанной в работе [2], исследуемую структуру покрывают регулярной сеткой со стороной, равной  $\delta$ , после чего подсчитывают количество ячеек, покрывающих структуру. Для диапозона значений, в которых выполняется пропорциональность

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

где  $N$  – количество ячеек сетки, покрытых исследуемой структурой,  $\delta$  – 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 (рис. 1).



Рис. 1. Разломная сеть Беларуси, покрытая набором регулярных сеток с различными размерами ячеек [1]

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 (рис. 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

$$\lg(N) = 1,39 \lg(\delta) + 5,02 \quad . \quad (5)$$

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

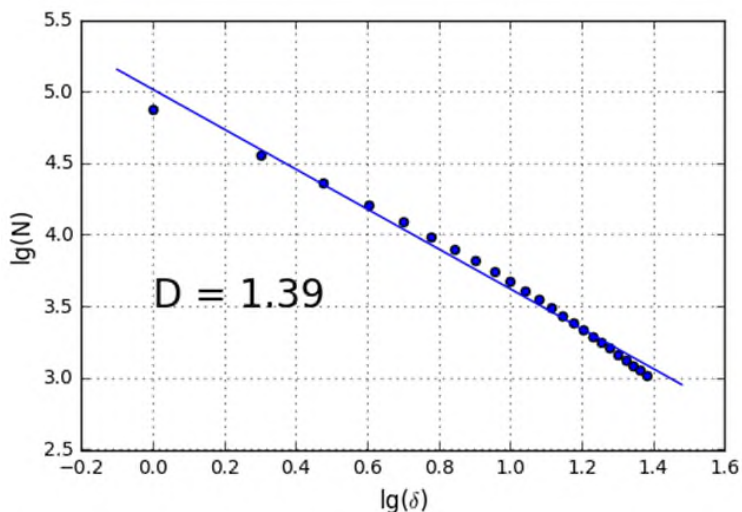


Рис. 2. Зависимость количества ячеек, покрывающих разломную сеть от масштаба рассмотрения и прямая, её аппроксимирующая

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 [2]. На графике (рис. 2) можно заметить некоторое изменение крутизны графика в районе  $\delta$ , 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И., Айзберг Р. Е., Карабанов А. К., Святогоров А. А.* Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1:500000: создание и результаты // Литасфера, 2013. № 1. С. 3–30.
2. *Захаров В. С.* Самоподобие структур и процессов в литосфере по результатам фрактального и динамического анализа // Диссертация на соискание степени к. г.-м. н., 2014. МГУ.
3. *Макаров П. В.* Об иерархической природе деформации и разрушения твердых тел и сред // Физическая мезомеханика, 2004. № 7. С. 25–34.

## REFERENCES

1. *Garetskiy R. G., Karataev G. I., Ayzberg R. E., Karabanov A. K., Svetogorov A. A.* Kosmotektonicheskaya karta Belarusi masshtaba 1:500 000: sozdanie i rezul'taty [1:500000 scale cosmotectonic map of Belarus: creation and results]. *Litosfera*, 2013, no. 1, pp. 3–30. (In Russian).
2. *Zakharov V. S.* Samopodobie struktur i protsessov v litosfere po rezul'tatam fraktal'nogo i dinamicheskogo analiza [Self-similarity of structures and processes in the lithosphere by results of fractal and dynamic analysis]. *Diss. cand. sci.*, 2014, MSU. (In Russian).
3. *Makarov P. V.* Ob ierarkhicheskoy prirode deformatsii i razrusheniya tverdykh tel i sred [On hierarchical nature of deformation and fracture of solids and media]. *Phizicheskaya mezomekhanika*, 2004, no. 7, pp. 25–34. (In Russian).

УДК 550.8.053

**И. С. Заключение, И. С. Путилов**

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ПермНИПИнефть  
в г. Перми. 614015, Россия, г. Пермь, ул. Пермская, д. 3а;  
e-mail: Igor.Zaklyuchnov@pnn.lukoil.com, Ivan.Putilov@pnn.lukoil.com

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПРОГНОЗА ЭФФЕКТИВНЫХ ТОЛЩИН КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D И ГИС

*Аннотация.* Статья посвящена совершенствованию методики количественного прогноза эффективных толщин коллекторов. Разработан и практически реализован новый подход для количественного прогноза эффективных толщин коллектора в межскважинном пространстве по данным сейсморазведки 3D и ГИС.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, атрибутный анализ, сейсмическая инверсия, лассо-регрессия.