

УДК 539.3+622.831.31

DOI: 10.52754/16947452_2022_1_205

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА (ФРАКТАЛЬНЫЕ
СВОЙСТВА) ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ БАЗАЛЬТОВЫХ
ПОРОД КЫЗЫЛ-КИЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КР**

Маматов Элбек Умаржанович, аспирант

mamatov.elbek@list.ru

Ташполотов Ысламидин, д.ф.-м.,н., профессор,

itashpolotov@mail.ru

Ибраимов Таалайбек Каилбекович, преподаватель

t.kailbekovich@mail.ru

Ошский государственный университет

Ош, Кыргызстан

Аннотация: *Изучены свойства поверхности микрорельефа кристаллов базальтовых пород Кызыл-Кийского месторождения КР. Исследование микрорельефа поверхности кристаллов базальтовых пород проводили на основе определения фрактальной размерности. С помощью микроскопа сопряженной с компьютером выполнено сканирование поверхности образцов кристаллов и для каждого вида кристалла изучено несколько характерных участков кристалла базальтовых пород. Проведены оценки индекса трещиностойкости базальтовых горных пород в зависимости от фрактальной размерности микрорельефа поверхности. Для определения фрактальной размерности D изображение поверхности кристалла базальта разбивали на множество ячеек и подсчитывали число занятых ячеек, далее размер ячейки увеличивается, повторяем действия предыдущего шага и по полученной зависимости числа занятых ячеек от размера ячеек определили значения индекса фрактальности и далее фрактальную размерность.*

Ключевые слова: *Кристаллы базальтовых пород, микрофотографии, индекс трещиностойкости, индекс фрактальности, метод покрытия, фрактальная размерность, разрушения горных пород.*

**КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН КЫЗЫЛ-КИЯ БАЗАЛЫТ
КЕНИНИН КРИСТАЛЛАДАРЫНЫН БЕТИНИН
МИКРОРЕЛЬЕФИНИН (ФРАКТАЛДЫК КАСИЕТТЕРИН)
ИЛИКТӨӨ.**

Маматов Элбек Умаржанович, аспирант

mamatov.elbek@list.ru

Ташполотов Ысламидин, ф.-м.и.д., профессор,

itashpolotov@mail.ru

Ибраимов Таалайбек Каилбекович, преподаватель

t.kailbekovich@mail.ru

Ош мамлекеттик университети,

Ош, Кыргызстан

***Аннотация:** Кыргыз Республикасынын Кызыл-Кыя базальт кенинин кристаллдарынын микрорельефинин беттик касиеттери изилденген. Фракталдык өлчөмдү аныктоонун негизинде базальт тектеринин кристаллдарынын бетинин микрорельефин изилдөө жүргүзүлгөн. Компьютер менен коштолгон микроскоптун жардамы менен кристалл үлгүлөрүнүн бети сканерден өткөрүлдү жана кристаллдын ар бир түрү үчүн базальт тектеринин кристаллынын бир нече мүнөздүү аймактары изилденген. Беттик микрорельефтин фракталдык өлчөмүнө жараша базальт тектеринин жаракаларга туруктуулугунун индексине баа берүүлөр жүргүзүлгөн. D фракталдык өлчөмүн аныктоо үчүн базальт кристаллынын бетинин сүрөтү көптөгөн клеткаларга бөлүнгөн жана ээлеген клеткалардын саны эсептелген, андан кийин клетканын өлчөмү чоңойтулуп, мурунку жасалган кадамдарды кайталап, алынган. Колдонулган клетканын өлчөмү боюнча ээлеген клеткалардын санынын анын өлчөмүнөн болгон көз карандылык табылган жана графиктен фракталдык индексинин маанилери, андан кийин фракталдык өлчөм аныкталган.*

***Ачык сөздөр:** Базальт тоо тектеринин кристаллдары, микросүрөттөр, бекемдик көрсөткүчүнүн индекси, фракталдык индекс, каптоо ыкмасы, фракталдык өлчөм, тоо жаракалары.*

**THE MICRORELIEF RESEARCH (FRACTAL PROPERTIES) OF
THE SURFACE OF CRYSTALS OF BASALT ROCKS OF THE
KYZYL-KII DEPOSIT OF KR**

Mamatov Elbek Umarzhanovich, applicant

mamatov.elbek@list.ru

Tashpolotov Yslamidin d.f-m.s., professor,

Abstract: *The surface properties of the microrelief of crystals of basalt rocks of the Kyzyl-Kiya deposit of the Kyrgyz Republic were studied. The study of the microrelief of the surface of basaltic rock crystals was carried out on the basis of determining the fractal dimension. Using a microscope coupled with a computer, the surface of crystal samples was scanned, and for each type of crystal, several characteristic areas of a basalt rock crystal were studied. Estimates of the index of crack resistance of basalt rocks depending on the fractal dimension of the surface microrelief have been carried out. To determine the fractal dimension D , the image of the basalt crystal surface was divided into many cells and the number of occupied cells was counted, then the cell size increased, we repeated the steps of the previous step, and the resulting dependence of the number of occupied cells on the cell size was used to determine the values of the fractality index and then the fractal dimension.*

Keywords: *Crystals of basalt rocks, micrographs, fracture toughness index, fractality index, coating method, fractal dimension, rock fractures.*

Введение. В настоящее время значительный интерес представляет вопрос о влиянии фрактальной структуры материалов на их физико-химические и технологические свойства. Например, при изучении физико-механических свойств поверхности различных кристаллов, наряду с известными физическими параметрами используются фрактальные параметры. Поскольку фрактальная размерность вещества определяет степень шероховатости рельефа поверхности, то этот параметр влияет на отдельные физические свойства кристалла[1].

Для поваренной соли определены значения фрактальной размерности, твердости и модуля упругости и установлена незначительная обратная корреляция между фрактальной размерностью поверхности и механическими характеристиками.

В работе установлена обратная корреляция между параметром S/l (S – средний шаг местных выступов профиля, l – шаг сканирования) и фрактальной размерностью. Изучена зависимость этих параметров от масштаба и показано, что значения фрактальной размерности и степень

выраженности эффектов анизотропии могут быть неодинаковыми на различных масштабных уровнях.

Экспериментальная часть

Нами с помощью микроскопа сопряженной с компьютером выполнено сканирование поверхности образцов кристаллов базальтовых пород, для каждого вида кристалла изучено несколько характерных участков кристалла базальтовых пород.

Микрофотографии рельефа сканированных поверхностей базальта, приведены на рис. 1.



Рис. 1. Микрофотографии рельефа поверхностей кристаллов базальтовых горных пород Кызыл-Кийского месторождения КР.

Из рис. 1 а, б, в видно, что поверхности кристалла базальтовых горных пород одного и того же месторождения обладают различные рельефы.

Методы измерения фрактальной размерности

Для определения фрактальной размерности твердых тел существуют большое число экспериментальных методов[1]. Для каждого конкретного случая, выбор метода измерения, зависит от природы рассматриваемой системы и от интервала масштабов, на котором исследуемый объект считается фрактальной.

Все методы измерения фрактальной размерности подразделяются на следующие группы:

1) методы измерения, основанные на построении различного рода покрытий;

2) методы измерения, основанные на анализе Фурье-образов фрактальных объектов, полученных при рассеянии ими света, рентгеновских лучей, электронов или нейтронов;

3) методы исследования энергопереноса на фрактальных частицах, основанные на изучении скорости релаксации возбужденных молекул красителя, распределенных на фрактальной поверхности [4,5].

В данной статье мы используем метод покрытий.

Методика обработки полученных микрофотографий

Для изучения поверхностных свойств базальтового кристалла использовали индекс фрактальности Φ [4] рельефа поверхности, определяемый при оценке фрактальной размерности D .

Согласно [5], фрактальная размерность D связан с Φ следующим выражением $\Phi=D-1$. Индекс фрактальности определяли для трех взаимно перпендикулярных плоскостей.

Индекс фрактальности кристаллов базальтовых горных пород

Для определения фрактальной размерности D изображение поверхности кристалла базальта разбиваем на множество ячеек и подсчитываем число занятых ячеек, далее размер ячейки увеличивается, повторяем действия предыдущего шага и по полученной зависимости числа занятых ячеек от размера ячеек определяем фрактальную размерность.

В таблице 1 приведены вычисленные средние значения одномерного индекса фрактальности для различных участков поверхности кристаллов базальта.

Таблица 1. Средние значения индекса фрактальности (Φ) и фрактальной размерности D базальтового кристалла Кызыл-Кийского месторождения КР

Наименование поверхности	Среднее значение индекса фрактальности, Φ	Фрактальная размерность, D
ХОУ	0,54	1.54
YOZ	0,51	1.51
ХОZ	0,26	1.26

Из данных, приведенных в таблицы 2 видно, что индексы фрактальности (Φ) выбранных плоскостей поверхности кристалла базальтовых пород Кызыл-Кийского месторождения КР находятся в

интервале 0,26-0,54. Это свидетельствует о том, что эти поверхности не относятся к числу сильно шереховатых.

Наиболее высокие индексы фрактальности из трех сторон наблюдаются в плоскости XOY и YOZ, т.е. для участков поверхности 1-ой области индекс фрактальности по горизонтальной и вертикальной линии обусловлено скачкообразным изменением высот(шереховатости).

Область XOZ является относительно гладкой и средний индекс фрактальности в этой поверхности составляет 0,26.

Таким образом установлено, что в кристаллах базальта наблюдаются эффект анизотропии фрактальных свойств по направлениям плоскости поверхности.

Взаимосвязь фрактальной размерности поверхности кристалла базальтовых горных пород на трещиностойкость

В работе установлено, что процесс образования и разрушения твердых тел имеет многоуровневую фрактальную структуру. Поэтому можно предположить, что характер рельефа поверхности разрушения кристаллов базальтовых пород также обусловлены изменениями, происходящими на различных масштабных уровнях. Для количественной характеристики структурного разрушения поверхности горной породы можно использовать фрактальную размерность, так как нижние слои кристалла связаны с верхним слоем и наоборот за счет силовых взаимодействий. Величина силовых взаимодействий, по-видимому, зависит от фрактальной размерности(шереховатости).

Показано, что для трещины, имеющей фрактальную структуру справедливы соотношения

$$\sigma(r) = pkr^{\alpha} \quad (1)$$

где p – продольное сжимающее напряжение, r – расстояние от вершины трещины, $K = pk$ – индекс интенсивности напряжений,

$$k = \sqrt{\frac{D-1}{2-D}}, \quad \alpha = \frac{D-1,5}{2-D} \quad (2)$$

D – фрактальная размерность трещины вблизи вершины.

Из формул (1) и (2) видно, что в диапазоне $1 < D < 1,54$ вершина трещины является особой точкой – полюсом порядка α , т.е. имеются

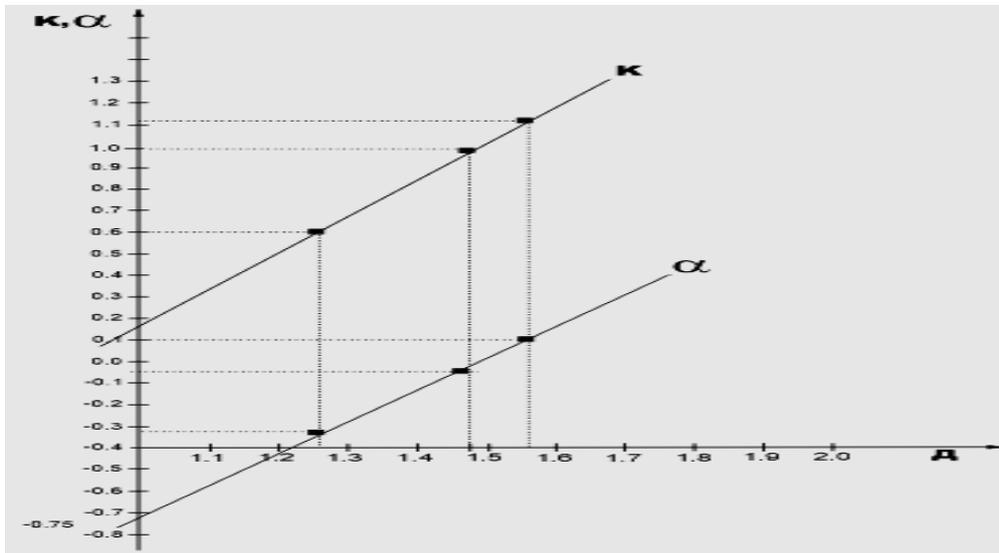
предпосылки к распространению трещины, а при $D > 1,54$ напряжения при $r \rightarrow 0$ имеют нуль порядка α и трещина не развивается.

Используя данные, приведенные в таблице 1 определим фрактальную размерность D (см. таб 1.), а также коэффициенты k и α .

Из полученных данных видно, что для плоскости XOZ $\alpha = -0,32$, а для плоскости XOY $\alpha = 0,087$ и YOZ $\alpha = 0,02$.

На рис. 2 приведены графики зависимости параметров k (кривая 1) и α (кривая 2) от фрактальной размерности, полученные на основе данных приведенной в таблице 1.

Рис. 2. Зависимость трещиностойкости кристалла базальтовых пород от индекса фрактальности.



Из рисунка 2 видно, что для гладкой поверхности ($D=1$), α становится равной $\alpha = -0,75$. Однако, для реальных кристаллов (горных пород), рост значений параметров k и α означает возрастание трещиностойкости с повышением фрактальной размерности (D) поверхности породы.

Фрактальная природа разрушения горных пород

Можно предположить, что процесс образования (разрушения) гетерогенных систем, наряду с другими физико-технологическими процессами является фрактальным процессом. Поэтому, фрактальная размерность должна входить в качестве критерия разрушения таких

систем. В связи с этим нужно установить взаимосвязь между измеримыми показателями и фрактальной мерой разрушения[6-8].

Особый интерес представляет поведение фракталов в топахимических реакциях, так как гетерогенная система откликается на небольшие различия в механической, термической и химической предыстории исходных компонентов. Предположим, что основным разрушающим элементом горной породы является вода. Тогда такая модель разрушения должна основываться на следующих положениях:

1. Вода адсорбируется в порах твердофазной системы, и температура кипения воды в порах породы растет с уменьшением их радиуса;

2. Процесс разрушения протекает равновесно, т.е. по мере повышения температуры, вода испаряется сначала из крупных пор, потом из все более мелких;

3. Масса воды в поре пропорциональна площади поверхности этой поры и при некоторой температуре T определяется следующим образом:

$$m(T) \propto 1 - \alpha \propto \left(\frac{T_{cr} - T}{T - T_b} \right)^{3-D}$$

где $3-D$ степень разрушения тела; D — фрактальная размерность; T_b — температура кипения воды; T_{cr} — критическая температура.

Выводы. Фрактальный анализ рельефа с использованием метода минимального покрытия[1] поверхности кристаллов базальтовых пород показывает, что для них характерна невысокой степени шереховатости, так как фрактальная размерность находится в пределах 1,26–1,54, на отдельных участках поверхности могут быть практически гладкими, хотя на некоторых областях поверхности кристаллов базальта имеет место эффект анизотропии.

Поверхности базальта с более низкой фрактальной размерностью большей степени склонны к разрушению, причем в области анизотропии фрактальных свойств распространение трещины наиболее вероятно происходит в направлении с низкой фрактальной размерности. Этот установленный факт имеет важное значение при создании строительных материалов и изделий на основе базальта.

Литература

1. Латыпова Н. В. Фрактальный анализ: учеб. пособие [Текст]/Н.В.Латыпова –

Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2020. 120 с.

2. Аптуков В.Н., Митин В.Ю., Морозов И.А. Фрактальные и механические свойства кристаллов поваренной соли в нанодиапазоне [Текст] / В.Н. Аптуков, В.Ю. Митин., И.А. Морозов// Вестник Пермского университета. – 2014. В. 4(27). С. 16–21.

3. Аптуков В.Н., Митин В.Ю., Скачков А.П. Исследование шероховатости поверхности кристаллов шпатового галита на микро- и наноуровне [Текст] / В.Н. Аптуков, В.Ю. Митин., А.П. Скачков// Вестник Пермского университета. 2014. В. 1(24). С. 25–30.

4. Старченко Н.В. Индекс фрактальности как анализ хаотических временных рядов[Текст]: дисс. канд. физ.-мат. наук./Н.В.Старченко. М., 2005. 122 с.

5. Аптуков В.Н., Митин В.Ю. Сравнительные характеристики изрезанности рельефа поверхности зерен сильвина, шпатовой соли и карналлита в нанодиапазоне [Текст] / В.Н. Аптуков, В.Ю. Митин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 1. С. 51–60.

6. Ташполотов Ы., Петрянов И.В., Садовский Б.Ф. О дискретном изменении сферы действия поверхностных сил при взаимодействии конденсированных фаз[Текст] / Ы.Ташполотов, И.В.Петрянов., Б.Ф.Садовский // ДАН СССР, 1990, т. 314, №4, С. 900-903.

7. Мосолов А.Б. Фрактальная Гриффитсова трещина [Текст]/А.Б.Мосолов // Журнал технической физики. – 1991. Т. 61. – № 7. С. 57–60.

8. Булат А.Ф., Дырда В.И. Фракталы в геомеханике[Текст]/А.Ф.Булат, В.И.Дырда. – Киев: Наукова думка. 2005. 357 с.