УДК 622.7

Д.А.ПЕТРОВ
Геолого-разведочный факультет,
группа МГП-99, ассистент профессора

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ РУД АЛЕКСАНДРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Южный Урал)

Представлен способ характеристики структуры медно-цинковых сульфидных руд посредством фрактальной размерности. Фрактальная размерность позволяет количественно определять сложность границ минеральных зерен в руде. Эта информация может быть основой для прогноза дезинтеграции руд при обогащении. Материалом для исследований послужили полированные шлифы медно-цинковых руд из Александринского месторождения (Урал). Измерение фрактальной размерности проводились методом шагового покрытия на персональном компьютере с использованием программ Adobe Photoshop 7.0 и FractShop. Данный метод применяется для сульфидных руд впервые.

It is presented method of characteristic structure by ores by means of fractal dimension. Fractal dimension allows detect ruggedness of mineral grains in ore as a quantitative parameter. This information can be base for prediction of disintegration of ore in ore processing. Materials for researching were cross-sections of copper-zinc ore from deposit Alexandrinskoe (The Urals). Measuring of fractal dimension were made by divider method on PC with using of programs Adobe Photoshop 7.0 and FractShop. This method for sulphide ores is using first.

При дроблении и измельчении руд важно наиболее полное высвобождение (раскрытие) минеральных сростков для разделения рудных и жильных минералов, но без их переизмельчения. Прогноз раскрытия минеральных сростков зависит не только от используемых методов измельчения, но, главным образом, от технологических свойств самих минералов и руд. К таким свойствам относятся спайность, хрупкость, пластичность и твердость, их соотношение у рудных и жильных минералов и структурно-текстурные особенности руды [2]. Последнюю группу свойств учесть особенно трудно. В то же время очевидно, что прочность минеральных сростков определяется энергией межзеренных границ, которая, в свою очередь, неодинакова у кристаллов с различным габитусом. Установлено, что наиболее энергоемкими являются высокосимвольные и шероховатые грани, а также извилистые границы ксеноморфных зерен [3]. Чем больше таких границ в минеральном агрегате, тем хуже и неравномернее будут высвобождаться и измельчаться те или иные минералы.

Существуют различные параметры, характеризующие форму минерального зерна. Однако далеко не все из них дают полную его характеристику. Поэтому для характеристики формы минеральных агрегатов целесообразно применять методы фрактального анализа. Фрактал – это некоторый объект с нецелой (дробной) размерностью и свойством самоподобия, инвариантный относительно масштабов преобразования, т.е. его геометрическим выражением будет фигура, отдельные части которой подобны ей самой. Размерность подобия, или фрактальная размерность, характеризует форму поверхности объекта [1]. Фрактальными свойствами обладают многие объекты природы, особенно возникшие в результате хаотических или случайных процессов. К таким процессам можно отнести и кристаллизацию минеральных зерен в породах и рудах. Следовательно, фрактальная размерность может быть использована для характеристики формы зерен в породах и рудах.

В проводимых исследованиях определялась фрактальная размерность зерен бор-

нита, который является одним из рудных минералов Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал). До настоящего времени метод фрактального анализа не применялся для колчеданных руд по ряду причин. Прежде всего, это высокая степень ксеноморфности зерен рудных минералов (сфалерита, халькопирита, борнита) и, соответственно, высокая извилистость их границ, что связано с условиями образования руд.

Измерение фрактальной размерности проводилось методом шагового покрытия. В основе процедуры лежит измерение длины изучаемого контура (в данном случае – контура зерна борнита в аншлифе) с помощью мерного отрезка определенной длины δ. В пределах этого отрезка участок контура рассматривается как прямая. Таким образом, количество отрезков δ, покрывающее всю длину контура, равно $N(\delta)$, а сама длина измеренного таким образом контура

$$L(\delta) = \delta N(\delta). \qquad (1)$$

При уменьшении длины мерного отрезка δ будет увеличиваться число отрезков $N(\delta)$, а характер изменения L – зависеть от извилистости границы контура. Зависимость N от δ выражается уравнением

$$N(\delta) = \delta^{-D}. \qquad (2)$$

Следовательно,

$$L(\delta) = \delta^{1-D}, \qquad (3)$$

где D – фрактальная размерность контура.

Прологарифмировав уравнение (3), получим

$$lgL(\delta) = (1 - D)lg\delta. \qquad (4)$$

Измерив длину контура L при различных последовательно уменьшаемых значениях δ, можно методом наименьших квадратов построить регрессионную прямую в билогарифмических координатах lgL и $lg\delta$. Тангенс угла наклона прямой и будет равен фрактальной размерности D. Величина D изменяется от 1,0 в случае гладких, ровных границ до 1,5 и более в случае сложных, извилистых границ. Точность измерений $D = 0{,}01 \div 0{,}02$ [1].

Таким образом, методом корреляционной функции может быть измерен контур фигуры практически любой сложности. Как раз такими контурами и обладают зерна борнита в рудах Александринского месторождения. Кристаллизация борнита в промежутках между зернами более ранних сульфидов обуславливает сложные очертания его зерен с большим количеством включений и входящих углов.

В результате исследований установлено, что фрактальная размерность зерен борнита колеблется в достаточно широких пределах, что объясняется различным соотношением рудных минералов в разновидностях руд. Борнит в этих рудах образовался позже, чем другие сульфиды (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда), заполняя их межзеренное пространство ксеноморфными выделениями. Таким образом, форма его границ определяется формой зерен минералов-соседей. Фрактальная размерность меняется от 1,01 до 1,67 в зависимости от сложности очертаний зерен. Была установлена корреляционная связь между фрактальной размерностью и линейными размерами зерен борнита. Это объясняется тем, что более крупные зерна борнита контактируют с большим количеством зерен других минералов, захватывают более мелкие зерна в процессе роста и перекристаллизации и, следовательно, приобретают более сложные очертания. Также выявлено, что фрактальная размерность ниже для тех зерен борнита, которые срастаются преимущественно с галенитом и халькопиритом, и выше – в случае срастаний с пиритом. Также выявлены различия средней фрактальной размерности зерен борнита в различных технологических сортах руд. Наименьшую фрактальную размерность имеют зерна борнита в медных рудах ($D = 1{,}03$), несколько больше она в цинковых рудах ($D = 1{,}06$), в медно-цинковых рудах, слагающих бóльшую часть рудного тела, она колеблется от 1,15 до 1,30 (средние значения образцов из разных частей месторождения). Основной причиной такого различия является более сложный минеральный состав медно-цинковых руд по сравнению с медными

и цинковыми. Как показывают наблюдения, фрактальная размерность борнита резко возрастает при одновременном срастании с несколькими зернами различных минералов.

Таким образом, фрактальная размерность является надежным параметром, характеризующим форму зерен минералов. Зная ее, можно прогнозировать степень раскрываемости минеральных сростков в процессе измельчения руды и таким образом выбирать оптимальный режим измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гульбин Ю.Л.* Морфометрия породообразующего кварца интрузивных гранитов / Ю.Л.Гульбин, Е.Б.Евангулова // Проблемы магматической и метаморфической петрологии: Тез. докл. на XI Научных чтениях памяти проф. И.Ф.Трусовой. 17-18 апреля 2001 г. / Моск. геол.-разв. ин-т. М., 2001.

2. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб: Наука, 1997.

3. Исследование типоморфных и технологических свойств шеелита месторождения Северный Катлар с помощью стереометрического анализа / В.М.Изоитко, Р.Л.Бродская, И.С.Баданина, С.В.Петров // Обогащение руд. 1995. № 3.

Научный руководитель д.г-м.н. проф. *Ю.Б.Марин*