УДК 622.7

Д.А.ПЕТРОВ
Геолого-разведочный факультет,
магистрант группы МГП-м-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 оценивать 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.

A method to characterize structure of sulfide copper-zinc ores by means of fractal dimensions is presented. Fractal dimensions allow quantitatively measure ruggedness of mineral grains in ores. This information can be used for prediction of ore disintegration in ore processing. Materials for the research included cross-sections of copper-zinc ores from the Alexandrinskoe deposit (the Urals). Measuring of fractal dimension was made by the divider method on a computer using Adobe Photoshop 7.0 and FractShop software. This method was used for this kind of ores for the first time.

Одним из важнейших технологических свойств руд являются их структурно-текстурные особенности, которые влияют на качество измельчения. Прочность минеральных сростков определяется энергией межзеренных границ, которая, в свою очередь, неодинакова у кристаллов различных минералов и с различным габитусом. Установлено, что наиболее энергоемкими являются высокосимвольные и шероховатые грани, а также извилистые границы ксеноморфных зерен. Чем больше таких границ в минеральном агрегате, тем хуже и неравномернее будут высвобождаться и измельчаться те или иные минералы [2, 3].

Для количественной характеристики формы зерна можно использовать различные параметры, но не все из них достаточно информативны. Наилучшим образом сложную поверхность зерен можно изучить методами 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, является величиной, которая характеризует форму поверхности объекта. 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 [1].

В качестве объекта исследований впервые были выбраны образцы колчеданных руд Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал), отобранные автором во время производственной практики в 2002 г. Определялась фрактальная размерность контуров зерен главных минералов, слагающих эти ру-

ды: пирита, халькопирита, сфалерита, борнита и барита. Для месторождения характерна высокая изменчивость как минерального состава, так и текстурно-структурных особенностей руд. Поэтому возникает необходимость в количественной характеристике структуры руд и классификации их по этому признаку.

Измерения фрактальной размерности производились в лаборатории онтогении минералов на кафедре минералогии, кристаллографии и петрографии Санкт-Петербургского горного института. С помощью компьютерного видеоанализатора, оборудованного на базе поляризационного микроскопа «Opton Axioplan» фирмы «Zeiss» и пакета программ VideoTest были получены изображения минеральных зерен из различных разновидностей руд. Сам расчет проводился с помощью компьютерной программы морфометрического анализа FractShop, в которой фрактальная размерность D вычисляется методом корреляционной функции.

Значение D при этом изменяется от 1,0 (гладкие, нефрактальные линии) до 2,0 (бесконечно извилистые кривые, заполняющие плоскость), выступая мерой извилистости или сложности изучаемого контура. Точность определения D составляет 0,01-0,02. Для изучаемых зерен сульфидов Александринского месторождения получены значения фрактальной размерности 1,01-1,67. Применяемая методика позволяет также измерить и незамкнутые контуры, т.е. межзеренные границы между минералами (при условии их достаточной протяженности).

В результате анализа измерений отмечены следующие закономерности:

1. Различная сложность очертаний одних и тех же минералов в разных минеральных ассоциациях. Примером может служить борнит, являющийся наряду с халькопиритом основным медным минералом в месторождении. 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 большую 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.

2. Снижение фрактальной размерности зерен некоторых минералов при собирательной перекристаллизации. Наиболее заметно это на примере пирита, который составляет от 30 до 95 % объема руды. Если в неизмененных мелкозернистых рудах показатель D для пирита равен 1,20-1,25, то в рудах, подвергнувшихся перекристаллизации, он опускается до 1,10. Можно заключить, что при перекристаллизации границы минеральных зерен становятся более гладкими.

Как уже говорилось, прочность минеральных сростков пропорциональна энергии межзеренных границ, которая, в свою очередь, характеризуется их извилистостью. Для проверки этого предположения было проведено опытное измельчение образцов руды в лаборатории АО «Механобр-Инжиниринг» и изучены продукты этого измельчения. Рассматривались межзеренные срастания пирита с остальными главными минералами. Степень раскрытия различных межминеральных границ X была сопоставлена с их фрактальной размерностью D. В результате получено уравнение

$$X = 589{,}5 - 489D.$$

Несмотря на небольшое количество точек, по которым построен график, это соотношение позволяет сделать ряд важных выводов.

- Между фрактальной размерностью межзеренных границ и степенью их раскрытия существует корреляционная связь, которая достаточно хорошо аппроксимируется линейным регрессионным уравнением. Степень раскрытия межзеренных границ уменьшается с увеличением фрактальной размерности.
- Фрактальная размерность и степень раскрытия неодинаковы для разных минера-

лов и минеральных типов: наибольшей степенью раскрытия отличаются границы пирит – барит, меньшей границы пирит – халькопирит и борнит – пирит, минимальной границы пирит – сфалерит.

Очевидно, что раскрываемость межзеренных границ определяется не только степенью их извилистости, но и свойствами самих минералов (твердость, спайность, тип проводимости и т.д.). Поскольку фрактальная размерность количественно характеризует очертания минеральных зерен, описанный метод можно использовать для приблизительного, первоначального прогноза поведения руд при измельчении. Как видно из приведенных примеров, особенно удобно его применение для руд с близким минеральным составом, но с различной структурой. Это может существенно ускорить и упростить разработку оптимальной схемы обогащения таких руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гульбин Ю.Л.* Методы количественного анализа и моделирование структуры минеральных агрегатов / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2004.

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*