

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И МЕТОДОЛОГИИ

УДК 55:519

© Д.Г.Егоров, В.Э.Асминг

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ФРАКТАЛОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ
(на примере железорудной формации Кольского полуострова).

Д.Г.Егоров, В.Э.Асминг

Термин *fractal* есть соединение двух слов: *fraction* - дробь, и *fracture* - излом. Фракталы - это геометрические объекты, состоящие из частей, которые в каком-то смысле подобны целому, причем это подобие может быть как геометрическим, так и статистическим [1]. На рис. 1-2 приведены примеры таких объектов. Как следует из этих рисунков, возможны не только строго геометрические, но и вероятностные самоподобные фигуры, каковыми можно рассматривать и многие геологические объекты. В последние годы выпуск литературы на эту тему растет экспоненциально [2-5, и др.]. В данной работе мы остановимся на некоторых методических аспектах получения меры фрактальности, которые, на наш взгляд, недостаточно освещены в вышеприведенных источниках, а также на физическом смысле получаемых результатов.

Мерой, характеризующей фрактальность объекта, является фрактальная размерность (D_f), точнее говоря, размерности, так как способов конкретной реализации измерения фрактальной размерности существует очень много [см. обзоры: 1,6,7]. Они дают одинаковые значения для объектов целой размерности, но (в общем случае) приводят к разным значениям для фракталов. Простейшей является размерность *подобия*, определяемая как отношение количества объектов к величине сжатия на каждом шаге построения фигуры [1]. Так как разделение фрактала на генерации объектов - отображений различного уровня не всегда удобно, особенно для геологических объектов, как рабочее возьмем способ определения фрактальной размерности D_f из работы [8]. Рассмотрим объект, состоящий из большого числа точек в D -мерном евклидовом пространстве. Функция $I(R)$ задает среднее количество точек в сфере радиусом R

$$I(R) = 1/(N^2 - N) * \sum_j \Theta(R - \text{mod}(x_i - x_j)),$$

где N - общее число точек, x_i - их координаты, mod - расстояния между точками, Θ - ступенчатая функция, равная 1, если аргумент больше нуля, и нулю в остальных случаях. Размерность объекта определяется из предельного отношения $I(R) \propto R^{D_f}$. На практике предельный переход заменяется измерением наклона прямых на логарифмическом графике $\ln I(R) - \ln R$, угол наклона зависимости дает D_f .

Модификацией этого подхода будет покрытие всего пространства мерными сферами (или квадратами, кубами и т.д.); функция Θ при этом принимает значение 1, если в пределах зондирующей ячейки есть хотя бы одна точка:

$$f(R) = \sum_{j,D} \Theta(R)$$

Многочисленные описанные в литературе методики - "клеточная", "кластерная", "линейная" размерность и другие [3] являются вариациями этого подхода - меняется только форма зондирующей ячейки, но сутью измерений остается зондирование объекта ячейками все увеличивающегося размера с последующим сопоставлением логарифма количества пустых ячеек к логарифму размера ячеек.

Смысл измерения фрактальной размерности хорошо иллюстрирует высказывание Эшби: "Всякий закон природы есть ограничение разнообразия" [9]. Из того, что могло бы случиться, если бы мир был полным хаосом, наука выделяет то, что реально имеет место, а выражение, дающее как-то ограничения, соответствующие реальности, и есть законы природы (так, закон Ньютона говорит, что из всех мыслимых положений планет в небесах встречаются только некоторые, связанные определенными отношениями). Дробная размерность фракталов отражает тот факт, что некоторые части пространства для них являются запрещенными уже самим алгоритмом построения фрактальной фигуры, фактически при развитии фрактального самокопирования происходит сжатие информации о пространственных координатах объекта. Эта аналогия меры геометрических форм фракталов с информацией не является только лишь остроумным наблюдением, но отражает фундаментальный факт связи фракталов с процессами самоорганизации [10,11]. Самоподобие на различных масштабных уровнях связано с автокаталитической природой процессов самоорганизации: структуры первого поколения служат зародышем структур второго, и т.д., т.е. отдельные части системы служат матрицей, мультиплицируемой на следующих уровнях. Именно поэтому процессы самоорганизации порождают самоподобные фрактальные структуры. Таким образом, *фрактальная размерность является информационной мерой для процессов самоорганизации*.

Наименее трудоемкий способ обработки геологической информации для выявления фрактальности на наш взгляд заключается во введении через сканер образа объекта (карты, фотографии, схемы) в компьютер. Образ обрабатывается в ка-

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	
3	Д.Г.Егоров, В.Э.Асминг. Исследование трехмерных фракталов в Земной коре (на примере железорудной формации Кольского полуострова).
10	А.В.Каракин, А.Н.Леонтьев, Ю.Ф.Соколова. К вопросу о происхождении гранитного (по составу) слоя Земной коры.
17	Ю.В.Волков, М.Д.Рукши. Некоторые статистические модели геосистем.
25	В.Г.Дмитриев, Ю.М.Костин, С.С.Старичина. Методология построения интерфейса информационно-аналитической системы "Использование и охрана недр".
32	Б.С.Ужженов. Проектирование Государственного центрального банка «ГЕОИНФОРМ» в Республике Казахстан.
36	Б.А.Новиковский, М.В.Сыроватская, Н.И.Тулская. Использование компьютерных технологий в экологическом картографировании.
44	С.В.Чистов. Информационное обеспечение экологического картографирования на региональном уровне.
50	В.И.Мушшов. Влияние электрической поляризации пористых пород на их фильтрационные свойства.
42	МВП "Центр" предлагает.
49	Экспертная система оценки качества первичного материала ГИС-ЭСОК.
59	Новая аппаратура радиоактивного каротажа нефтегазовых скважин.
60	Метод и аппаратура акустической геолокации подземных объектов "ГАЛС".
63	Технология экспрессного изучения территорий с целью поисков УВ сырья.
61	Рефераты
64	Наши авторы

К сведению авторов

Статья, направляемая для публикации в журнал, должна быть отпечатана на белой бумаге жирным шрифтом в двух экземплярах, подписана всеми авторами, сопровождаться актом экспертизы (если статья представляется организацией) и представлена в виде файла на дискете в редакторе WinWord 6.0 или в формате ASCII.

Статья может сопровождаться иллюстрациями, представленными в форматах CDR или BMP (серая шкала), и выполненными на белой плотной бумаге.

К статье необходимо приложить сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, место работы, должность, контактный телефон), а также ее реферат объемом 150 - 180 слов.

Объем статьи не ограничен, однако редакция оставляет за собой право отклонить статью, разделить ее на несколько частей и опубликовать в разных номерах, предложить автору доработать статью.

Редакция редактирования статей не осуществляет.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

ком-либо графическом редакторе с целью четкого разделения объекта и фона, с сохранением преобразованного образа в пиксельном виде (*.рх). В этом виде объект фактически уже разбит на единичные клеточки, и подсчет D_f по какому-либо алгоритму становится тривиальной задачей. Тем не менее оценка D_f объемных объектов по дву(одно)-мерным сечениям в общем случае может привести к серьезным смещениям. Фрактальный объект может иметь нефрактальные сечения, и наоборот. Об этом необходимо помнить, и понимать, что работа по фрагментарной информации (а в геологических приложениях почти вся информация является таковой) в общем случае даст только оценочный, а не строгий результат. Хорошей иллюстрацией этого служит определение клеточной размерности кольца, приведенного на рис. 3(а). Понятно, что кольцо не является самоподобным объектом, тем не менее при определении клеточной размерности этой фигуры на каком-то интервале мы будем иметь линейную зависимость между логарифмами количества ячеек и их размером (рис. 3б). Другим источником ошибок может стать использование не первичной информации, а геологических схем, разрезов и т.д. Примером этого может служить работа [12], авторы которой определяли фрактальность складчатости по геологическим разрезам, построенным по описаниям выходов геологических пород вдоль поверхностных профилей. Измеряющаяся при этом D интенсивности складчатости не отражает ничего, кроме интуитивных представлений исследователей о степени изрезанности разреза. Как показывает наш опыт [11], интуитивные оценки могут очень сильно отличаться от реальных, и никакой иной материал, кроме первичного фактического, в основу измерения фрактальности ложиться не может.

От ошибок такого рода свободно измерение фрактальной размерности по 3-мерным данным. Для обработки объемных объектов следует вводить серию образов - последовательных срезов, так выбирая масштаб, чтобы расстояния между последовательными образами было равно в масштабе одному пикселу, либо заранее выбирая зонд в виде не квадрата, а параллелепипеда. В этом случае проблема заключается не в эллиминировании принципиально неустранимых ошибок методики, а в наличии достаточного объема первичной информации.

Иллюстрацией этого подхода может служить определение фрактальной размерности ансамбля рудных тел Кировогорского месторождения железистых кварцитов Кольского полуострова (рис. 4). При геологической разведке и дальнейшей отработке месторождения были получены уникальные по полноте и качеству геологические данные о составе и

структуре месторождения [14]. Созданные нами оригинальные программы обработки компьютерной базы геохимических и структурных данных (30000 точек опробования), позволяющие отображать железорудные месторождения в любом заданном сечении, дали возможность построить подробные погоризонтные планы (через 10 м) с привязкой рудных тел с точностью до 1 метра. Таковым образом в нашем распоряжении оказалась объемная модель геометрии рудных тел (рис. 5): проведенные расчеты дали величину $D=2.16$.

На наш взгляд, выполнение такой работы по представительному и прецизионно привязанному геологическому материалу представляет методический интерес. Помимо этого, данная работа важна и с точки зрения выбора концепции генезиса Кольской железорудной формации. Образование фрактальных рудных структур маловероятно в рамках осадочного процесса; по всей вероятности они являются свидетельством метаморфогенного генезиса железистых кварцитов.

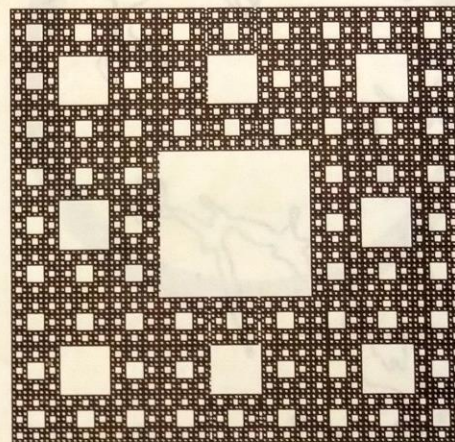
Мы благодарим профессора П.М.Горяинова за предоставленные материалы и помощь в построении геологических сечений месторождения. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ, 96-05-64402.

ЛИТЕРАТУРА

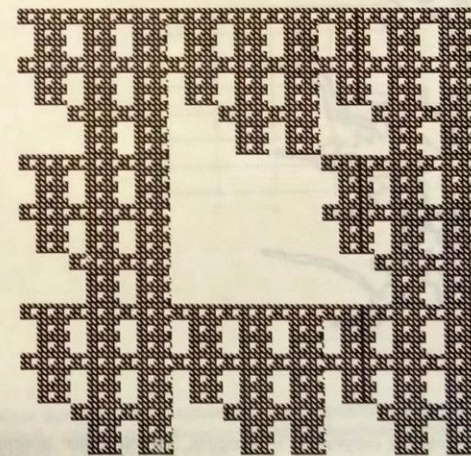
1. Mandelbrot B.B. *The fractal geometry of nature*. Freeman, NY, 1983. 468 p.
2. Иванов Г.Ю., Горяинов П.М., Егоров Д.Г. *Введение в нелинейную геологию*. Анатиты, изд. КНЦ РАН, 1996. 200 с.
3. Федер Е. *Фракталы*. М.: Мир, 1991. 260 с.
4. *International Symposium on Fractals and Dynamic Systems in Geoscience. Book of Abstracts*. Frankfurt am Main, Germany, 1993. 53 p.
5. Korvin G. *Fractal models in the Earth Sciences*. 1995, Freeman, NY, 396 p.
6. Смирнов Б.М. *Свойства фрактального агрегата* // *Успехи физических наук*, 1989. Том 157. Вып. 2. С. 357-360.
7. Соколов И.М. *Размерности и другие геометрические показатели в теории протекания* // *Успехи физических наук*, 1986. Том 150. Вып. 2. С. 221-254.
8. Поликарпов М.И. *Фракталы, топологические дефекты и невылетание в решеточных калибровочных теориях*. // *Успехи физических наук*, 1995. Том 165. №6. С. 627-644.
9. Эшби У.Р. *Введение в кибернетику*. М.: ИЛ, 1959. 432 с.
10. Лещиков Ф.А. *Синергетика геологических систем*. Новосибирск, Наука, 1992. 230 с.
11. Егоров Д.Г. *Структурно-вещественные признаки самоорганизующихся систем в железорудных месторождениях Кольского полуострова*. Автореф. дисс. на соискание уч. степ. к.г.-м.н. СПб, 1994. 16 с.
12. Кулик Д.А., Черноуский М.И. *Фрактальная модель многопорядковой складчатости железистых кварцитов (Кировогорский бассейн)*. // *Изв. ВУЗов, геология и геологическая разведка*, 1990, 5, с. 77-85.

геомагнитная систематика. Анатиты: Изд. Кольского ИЦ АН СССР, 1990. 170 с.

14. Горяинов П.М., Егоров Д.Г., Никитин П.В., Максимова Т.В. *Структурные исследования Кировогорского месторождения*. Анатиты, 1994. Фонды АО "Олкон", 24 с.



А



Б

Рис. 1. А - "ковёр Серпинского", Б - его статистический аналог. Изображение построено компьютерной программой с алгоритмом основанным на сжатии образа в 3 раза и его последовательном отображении. При построении образа Б квадранты отображения выбирались генератором случайных чисел

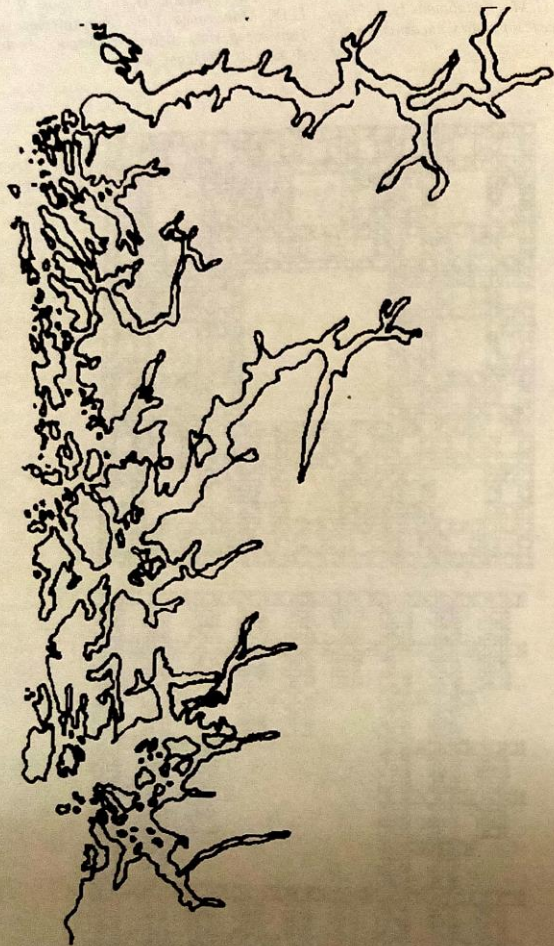


Рис. 2. Пример фрактальной структуры в пределах Земной коры: побережье южной части Норвегии, $D_f=1.52$ [3].

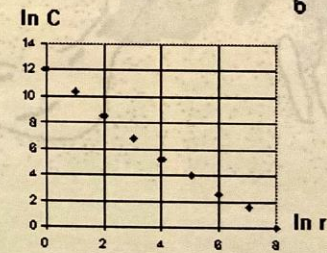


Рис. 3. Ложная фрактальная зависимость при определении клеточной размерности кольца; а - фигура, б - график зависимости между логарифмами количества ячеек (С) и их размером (r). $R=0.997$, Джажуетсяя =1.44.

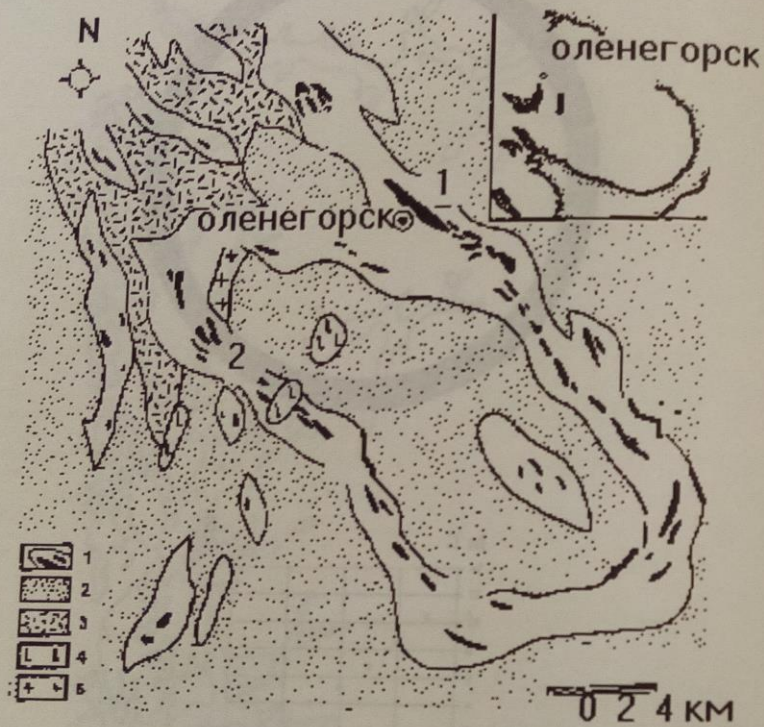


Рис. 4. Структурно-геологическая схема Примандровского железорудного района Кольского полуострова [1 - породы железисто-кремнистой формации (Кольская серия), 2 - тоналитовые гнейсы, 3 - глиноземистые гнейсы, 4 - интрузии габбро-пироксенитов, 5 - порфиридные граниты; месторождения: Оленегорское (1), Кировогорское (2)] (по: [13]).

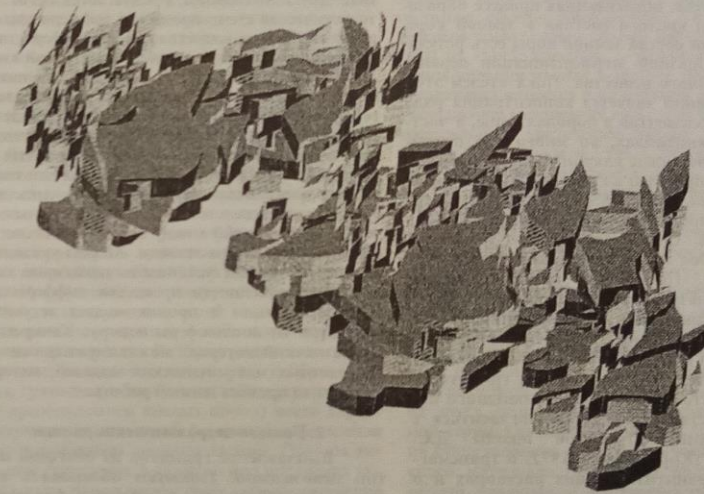


Рис. 5. Объемная компьютерная визуализация строения рудных тел Кировогорского месторождения железистых кварцитов Кольского полуострова. Точка обзора - к западу от рудных тел. Размах изображения - 1200*1200*400 м.