

ФРАКТАЛЬНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛИТОСФЕРЕ

Г.Ю.Иванюк, П.М.Горяинов

Геологический институт Кольского НЦ РАН

ivanyuk@geoksc.apatity.ru

Структура литосферы определяется ее стремлением максимально эффективно диссипировать непрерывно "подкачиваемую" в нее эндогенную энергию. Наиболее оптимальный путь для этого, как и во многих физических и технических системах, – создание фрактальных тектонических структур: регматической сети, зон трещиноватости, сети эпицентров землетрясений, складчатости, компактных брекчий, псевдотахилитовых штокверков, карста, наконец, рельефа и т.д. По этой же причине формируются и менее глобальные фрактальные структуры: скелетные и дендритные кристаллы, сложнослоистые минеральные агрегаты, иззубренные границы минеральных зерен и др. (Иванюк, 1997; Горяинов, Иванюк, 2001).

Впервые идея о самоподобии геофизической среды была озвучена нашим выдающимся геофизиком М. А. Садовским (Садовский, 1979; 1986). В соответствии с этой идеей, он предлагал рассматривать литосферу как систему взаимодействующих неоднородностей, которые могут иметь различную природу: это геологические блоки, плотностные, химические, тепловые и другие неоднородности горной породы, различные агрегатные состояния вещества и т. п. В процессе непрерывной подпитки эндогенной энергией система неоднородностей-отдельностей самоорганизуется в единую структуру, имеющую самоподобный (иерархический) характер.

Именно по этой причине в пределах одного и того же геологического объекта могут быть реализованы многие фрактальные структуры – в этом случае их геометрические характеристики (фрактальная размерность, интервалы масштабов фрактальности и т.д.) оказываются взаимосвязанными. Так, совокупность слоев какого-либо минерала в плейчатых железистых кварцитах по своему строению аналогична канторову множеству размерности ${}^1D_{пол.}=0.5-0.9$, составленному из фрактальных поверхностей Коха с ${}^3D_{скл.}=2.0-2.3$ (рис. 1). Размерности складок и полосчатости, при этом, связаны друг с другом отрицательной зависимостью (рис. 2) – т.е. при складкообразовании не происходит "перемешивания" полосчатой породы в некую нетекстурированную массу, как это неминуемо произойдет в любом такого рода эксперименте. Наоборот, чем сильнее плейчатость кварцитов, тем более контрастной и иерархически-упорядоченной предстает их полосчатость.

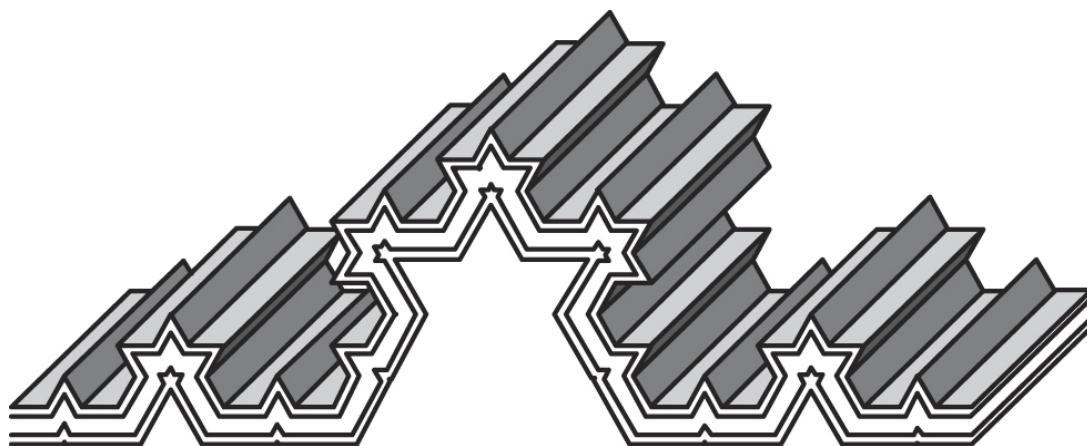


Рис. 1. Складчатая структура, составленная из фрактальных поверхностей Коха размерности 2.3, чередующихся подобно множеству Кантора размерности 0.6.

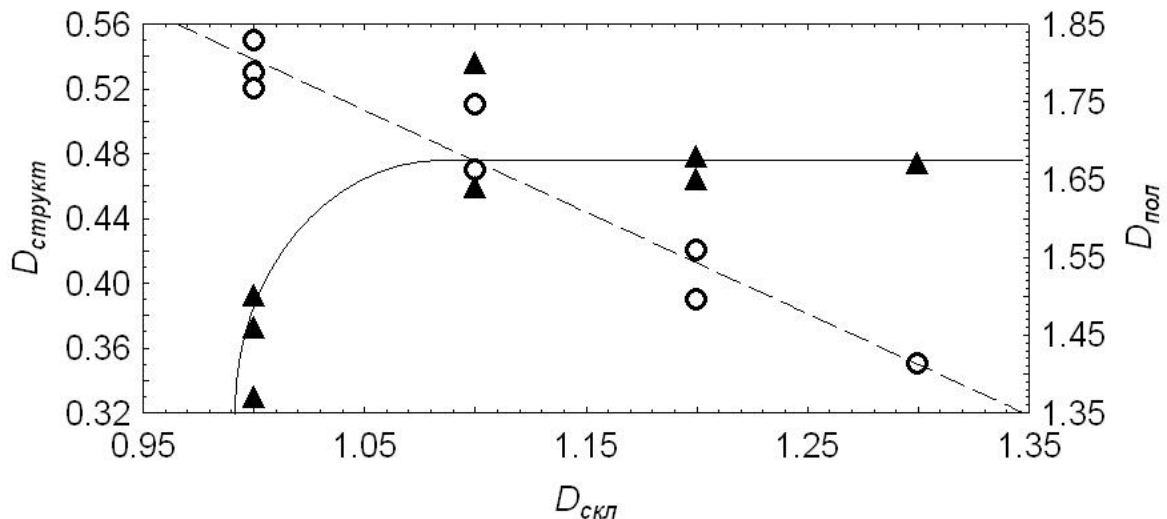


Рис. 2. Соотношение фрактальных размерностей складок $D_{скл}$, сети межзерновых границ $D_{структ}$ и полосчатости $D_{пол}$ железистых кварцитов Печегубского месторождения.

Следующим фрактальным подмножеством железистых кварцитов является сеть межзерновых границ, размерность которой ${}^2D_{зер}$ при складкообразовании быстро возрастает от 1.3 до 1.7 и выходит на плато (см. рис. 2), наличие которого можно связать со сдерживающей ролью температурного отжига. Действительно, по данным работы (Kruhl, Nega, 1997), фрактальная размерность границ между зернами кварца изменяется от ${}^2D_{зер}=1.23-1.31$ для пород, метаморфизованных в условиях низкотемпературной зеленосланцевой фации, до ${}^2D_{зер}=1.05-1.14$ для тоналитов и гранулитов (это, кстати говоря, позволяет использовать фрактальную размерность микроструктуры пород, находящихся в сходной тектонической обстановке, в качестве геотермометра).

Зоны развития фрактальной складчатости, в свою очередь, проявлены лишь в рудных телах железистых кварцитов мощностью более 10 м, а наиболее высокая размерность складок характерна для самых крупных линз этих пород. Это означает, что фрактальная размерность всех вышеперечисленных структур определяется размерностью линзовых комплексов ${}^2D_{линз}=1.20-1.70$: чем ближе $D_{линз}$ к топологической размерности ${}^2D_T=2$, тем больше ${}^2D_{скл}$ пloyчатых участков рудных тел отклоняется от топологической размерности ${}^2D_T=1$. Следует отметить, что и линзовые комплексы, в свою очередь, являются составляющими более крупной фрактальной структуры – регионального железорудно-амфиболито-гнейсового кластера, фрактальная размерность которого ${}^3D=2.6$ близка к теоретической размерности 3-мерного перколяционного кластера ${}^3D=2.54$ (Горяинов, Иванюк, 2001).

Подобным же образом связаны фрактальные размерности полосчатости, складок, компактных брекчий и др. на апатито-нефелиновых месторождениях Хибинского массива, причем "верхним" фрактальным подмножеством опять оказывается рудный штокверк размерности ${}^3D_{ан}=2.6$, близкой к теоретической размерности перколяционного кластера, а интервал масштабов фрактальности только в пределах месторождения простирается от 1 см до 100 м (Горяинов и др. 2005).

В настоящее время уже понятно, что фрактальное строение вихрей турбулентного потока жидкости соотносится с хаотической динамикой пульсаций скорости, температуры и других характеристик этого потока, которая вытекает из фундаментального уравнения Навье-Стокса. Фрактальное строение разломных сетей определяет особенности фрактальной временной динамики землетрясений и наоборот, – но обе эти "подсистемы" в своем единстве находят удовлетворительное объяснение в рамках теории самоорганизованной критичности (Bariere, Turcotte, 1994). В основе "химической турбулентности" также лежат строгие законы химической кинетики (Wu, Kapral, 1993). Иными словами, фрактальное строение многих

физических, химических и любых других структур, включая геологические, определяется внутренними закономерностями функционирования соответствующих систем, сводимыми, порой, к достаточно небольшому числу описывающих их уравнений. Детерминированный хаос в этом случае выступает в качестве своеобразного динамического аналога фрактала: хаос знаменует собой состояние крайней непредсказуемости, а фрактальность – крайнюю изрезанность геометрической фигуры (Кроновер, 2000).

Помимо прочего, это означает, что фрактальные структуры могут служить индикатором геодинамического состояния объекта в прошлом (например, характер изменения фрактальной размерности складок в железистых кварцитах указывает на формирование плейчатовости через перемежаемость регулярных и хаотических режимов, на наличие значительного – до 200 °С – температурного градиента между краевыми и осевыми частями рудных тел и др.), настоящем (например, фрактальная размерность береговой линии связана экспоненциальной зависимостью с индексом сейсмической активности территории) и будущем (например, фрактальные содовые кластеры в карьерах Хибинского массива фиксируют напряженные горнопородные блоки, опасные в отношении горных ударов и землетрясений).

Работы проводились в рамках тем НИР 4-2004-4801 и 4-2004-3201 ГИ КНЦ РАН и проекта 4-26/598 МПР РФ при финансовой поддержке ООО «Минералы Лапландии».

Список литературы

- Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю. *Самоорганизация минеральных систем*. М.: ГЕОС, 2001. 312 с.
- Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю., Коноплева Н.Г., Пахомовский Я.А., Яковенчук В.Н. *Структурно-вещественная организация Хибинского массива // Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита. Том 3. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2005. С. 89–91.*
- Иванюк Г. Ю. *Фрактальные геологические среды: размерность, основные типы, генетические следствия // Физика Земли. 1997. № 3. С. 21–31.*
- Кроновер Р. М. *Фракталы и хаос в динамических системах*. Москва: Постмаркет, 2000. 352 с.
- Садовский М. А. *Автомодельность геодинамических процессов // Вестник АН СССР. 1986. № 8. С. 3–11.*
- Садовский М. А. *О естественной кусковатости горных пород // Доклады АН СССР. 1979. Т. 247. № 4. С. 829–830.*
- Barriere B., Turcotte D. L. *Seismicity and self-organized criticality // Phys. Rev. E. 1994. Vol. 49. No. 2. P. 1151–1160.*
- Wu X-G., Kapral R. *Internal fluctuations and deterministic chemical chaos // Phys. Rev. Lett. 1993. Vol. 70. No. 13. P. 1940–1943.*