



ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПИСАНИЯ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР

Н.Р. Крамор, Е.Н. Муратова, К.Ю. Чипчев, Ю.М. Спивак

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Цель работы: Вычисление величин фрактальных размерностей для параметризации поверхностей пористых структур.

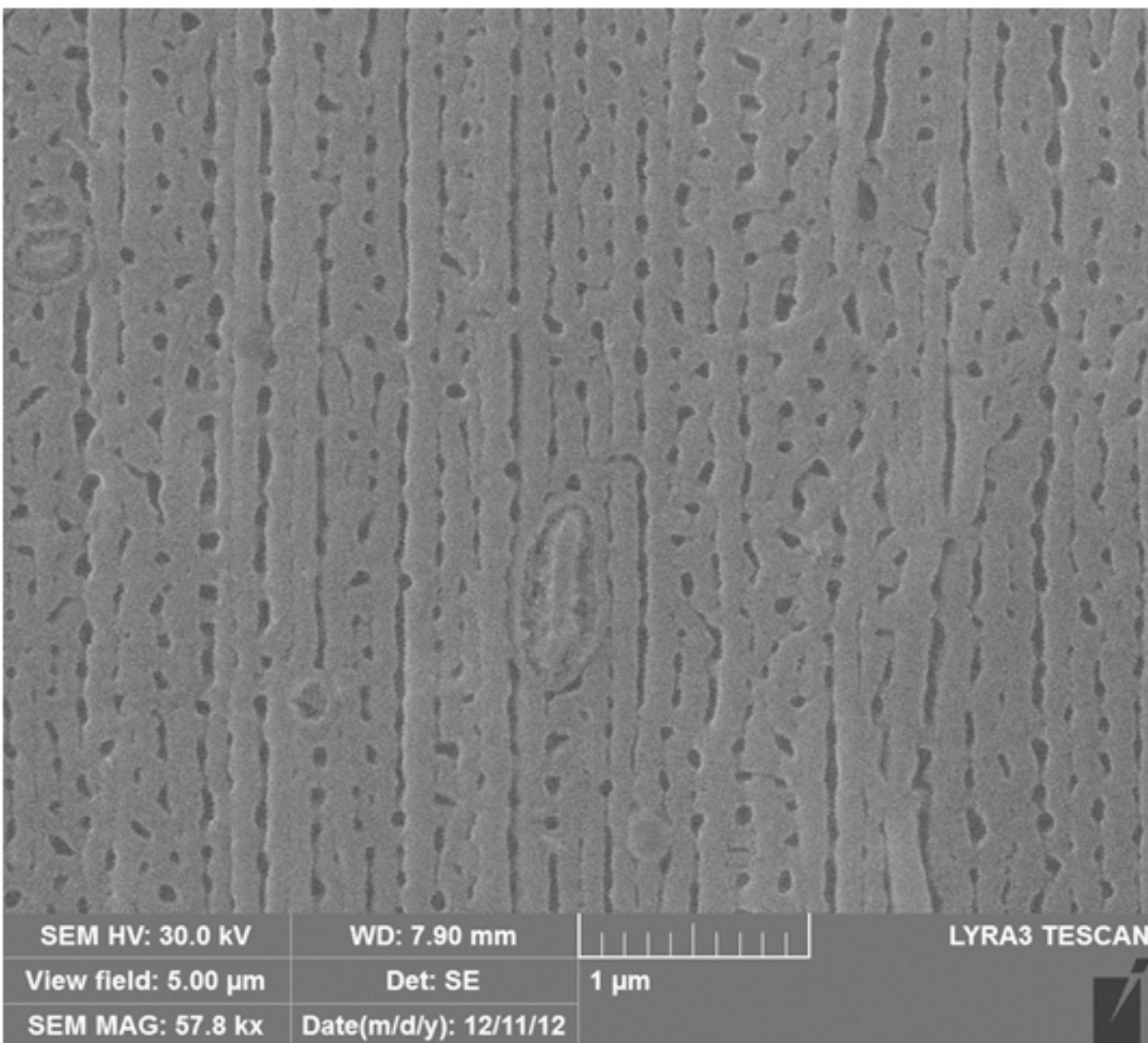


Рис. 1 - РЭМ-изображение образца №1

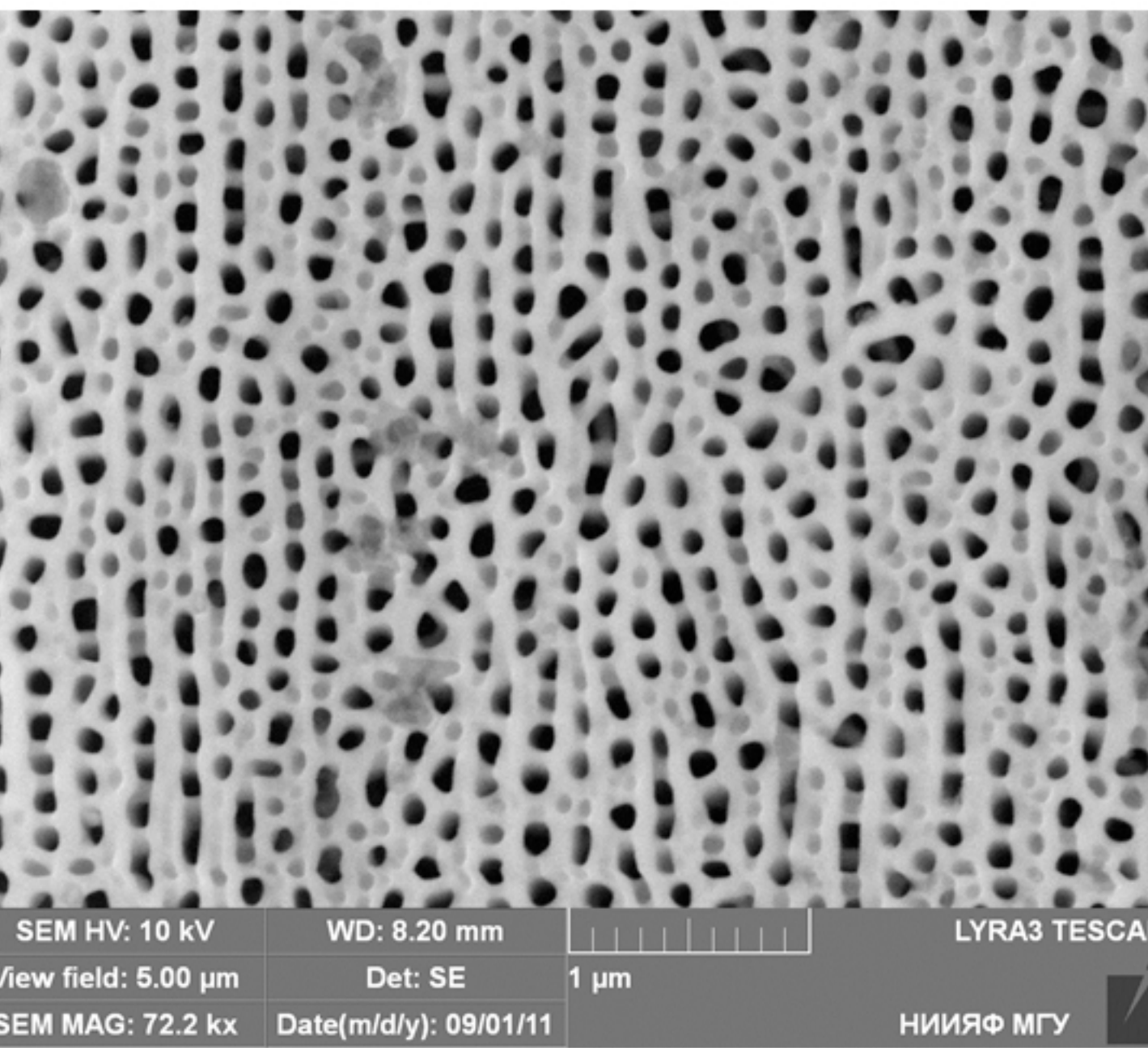


Рис. 2 - РЭМ-изображение образца №2

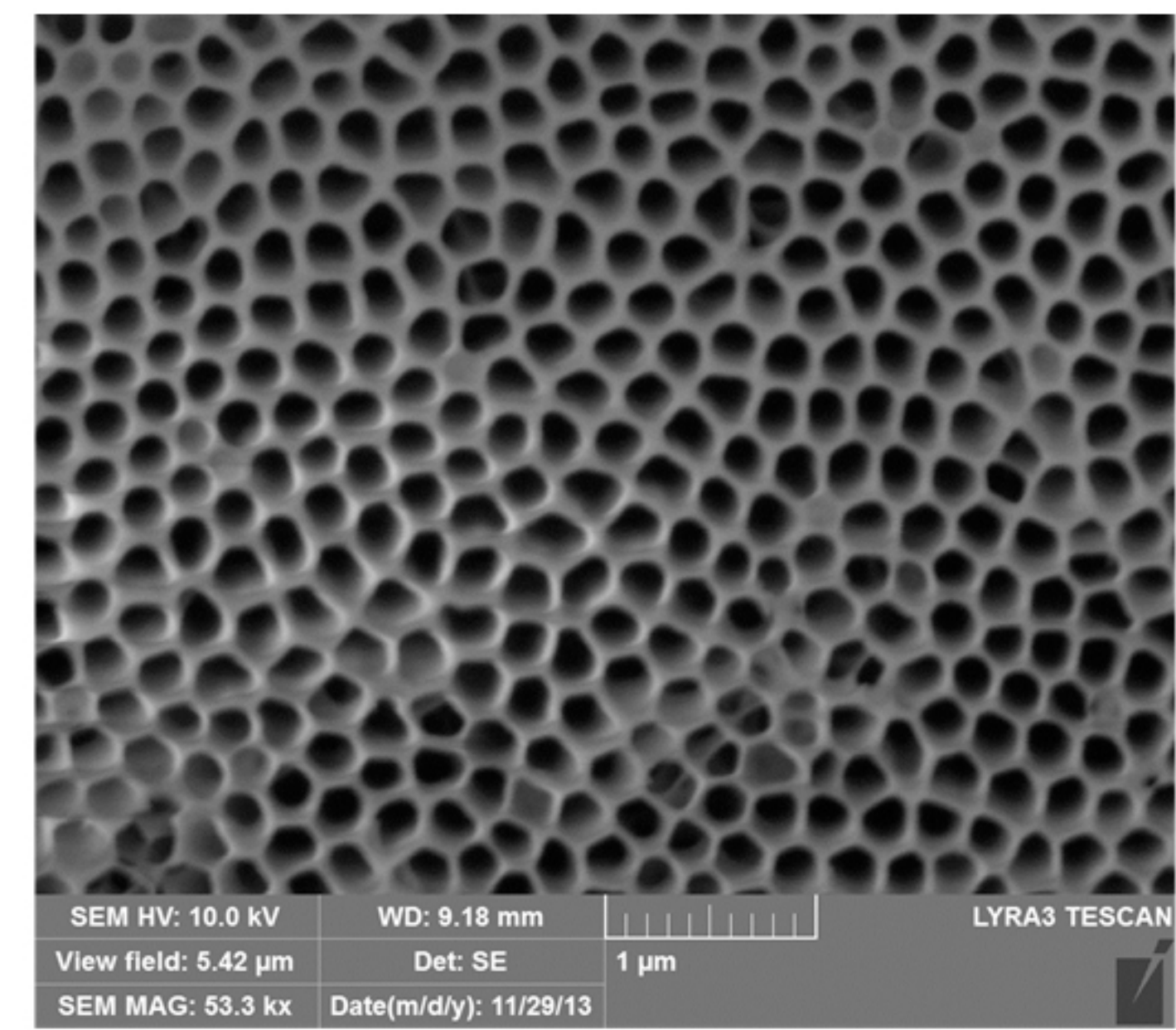


Рис. 3 - РЭМ-изображение образца №3

В данном исследовании рассматривается возможность анализа поверхностей пористого оксида алюминия с помощью фрактальных размерностей. Были выбраны образцы с принципиально разной структурой (рис. 1,2,3), при условии формирования их методом электрохимического анодирования в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты. В технологии получения (табл. 1) значительно отличались такие параметры, как напряжение анодирования (U_a) и температура процесса (T).

Морфология поверхности образцов изучалась методами РЭМ. (Статистические параметры морфологии поверхности определялись с помощью программы Gwyddion (лицензия GNU General Public License (GNU GPL)). В Gwyddion доступны различные виды фрактального анализа, в частности в нашей работе мы использовали:

- Метод подсчёта кубов
- Метод триангуляции

Метод подсчета кубов напрямую выводится из определения фрактальной размерности подсчётом коробок. Алгоритм основан на следующих шагах: кубическая решетка с постоянной решетки равной единице накладывается на растянутую по оси Z поверхность. Вначале l устанавливается на $X/2$ (где X - половина стороны поверхности), получается решетка из $2 \times 2 \times 2 = 8$ кубов. Тогда $N(l)$ - число кубов, которые содержат хотя бы один пиксель изображения. Постоянная решетки l затем последовательно на каждом шаге уменьшается вдвое и процесс повторяется, пока l не станет равным расстоянию между двумя соседними пикселями. Наклон графика $\log(N(l))$ от $\log(1/l)$ даёт непосредственно фрактальную размерность $D_{\text{куб}}$.

Метод триангуляции похож на алгоритм подсчёта кубов и тоже основан непосредственно на определении фрактальной размерности, основанном на подсчёте коробок. Метод работает следующим образом: сетка с размером ячейки в одну единицу измерения l помещается на поверхность. Это определяет положения вершин набора треугольников. Площади всех треугольников рассчитываются и суммируются чтобы получить приближенную площадь поверхности $S(l)$, затем размер сетки уменьшается последовательно в два раза на каждом шаге, как и раньше, процесс продолжается до тех пор, пока l не станет равным расстоянию между двумя соседними точками. Наклон графика $S(l)$ от $\log(1/l)$ при этом соответствует $D_{\text{тр}}$.

Результаты двух методов приведены в таблице (рис. 6 и 7). Полученные значения различаются, это вызвано систематическими ошибками различных методов фрактального анализа. Не отличается характер зависимости для разных метод расчетов, а именно фрактальная размерность уменьшается с увеличением упорядоченности структуры (K) поверхности образцов пористого оксида алюминия. Таким образом, можно рассматривать фрактальную размерность как независимую характеристику упорядоченности структуры.

№ <i>обр.</i>	$\underline{U_a}, B$	$T, ^\circ C$	$\underline{d_{пор}}, н.м$	K	$\underline{D_{куб}}$	$\underline{D_{тр}}$
1	20	-11	80	0,15	2,67	2,6
2	100	3	120	0,25	2,61	2,54
3	125	6	230	0,80	2,55	2,49

Рис.7 - Таблица значений фрактальных рамерностей для образцов пористого алюминия



Рис. 4 - Gwyddion 2.44

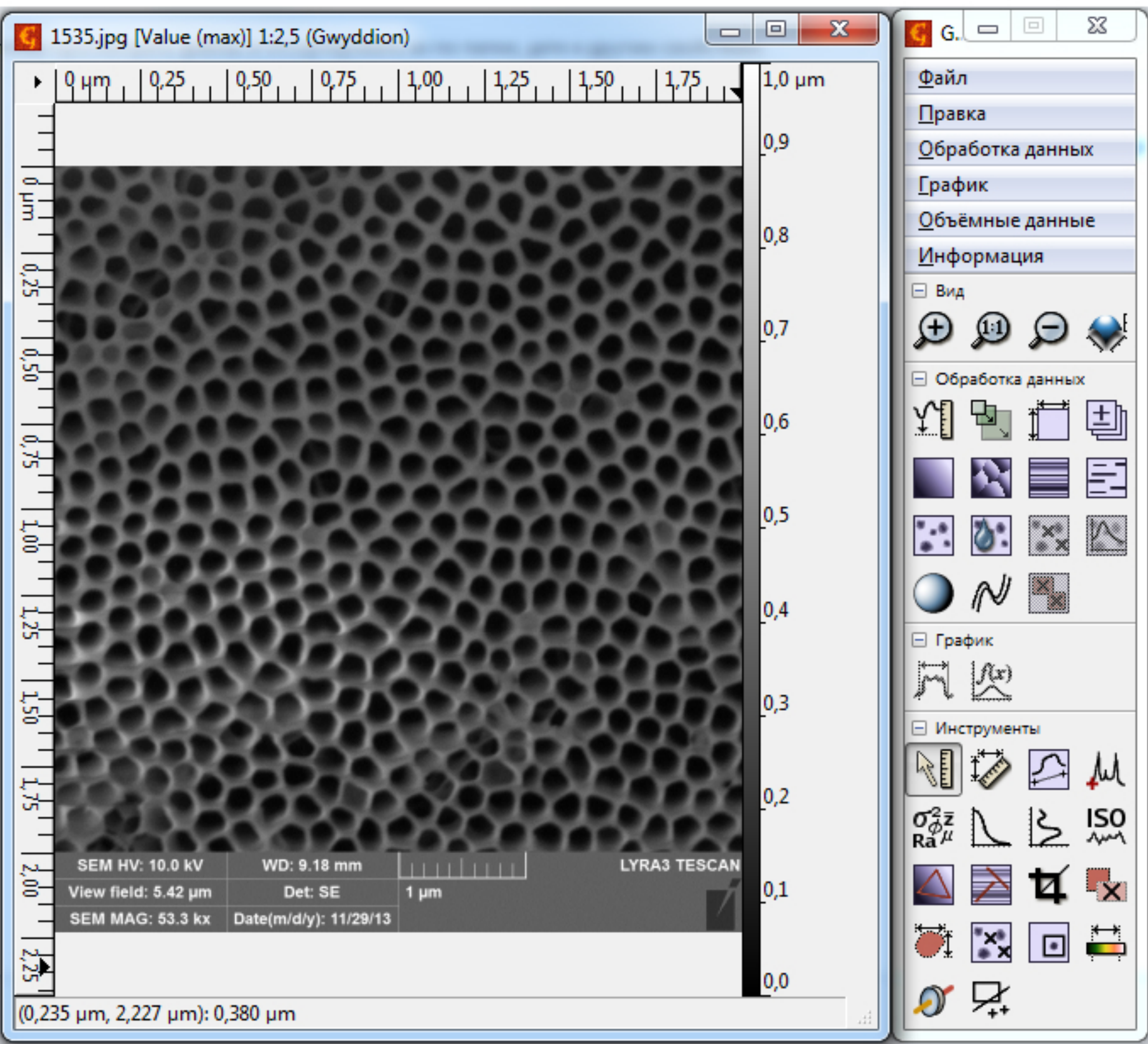


Рис. 5- Интерфейс программы Gwyddion с загруженным в него изображением образца №3

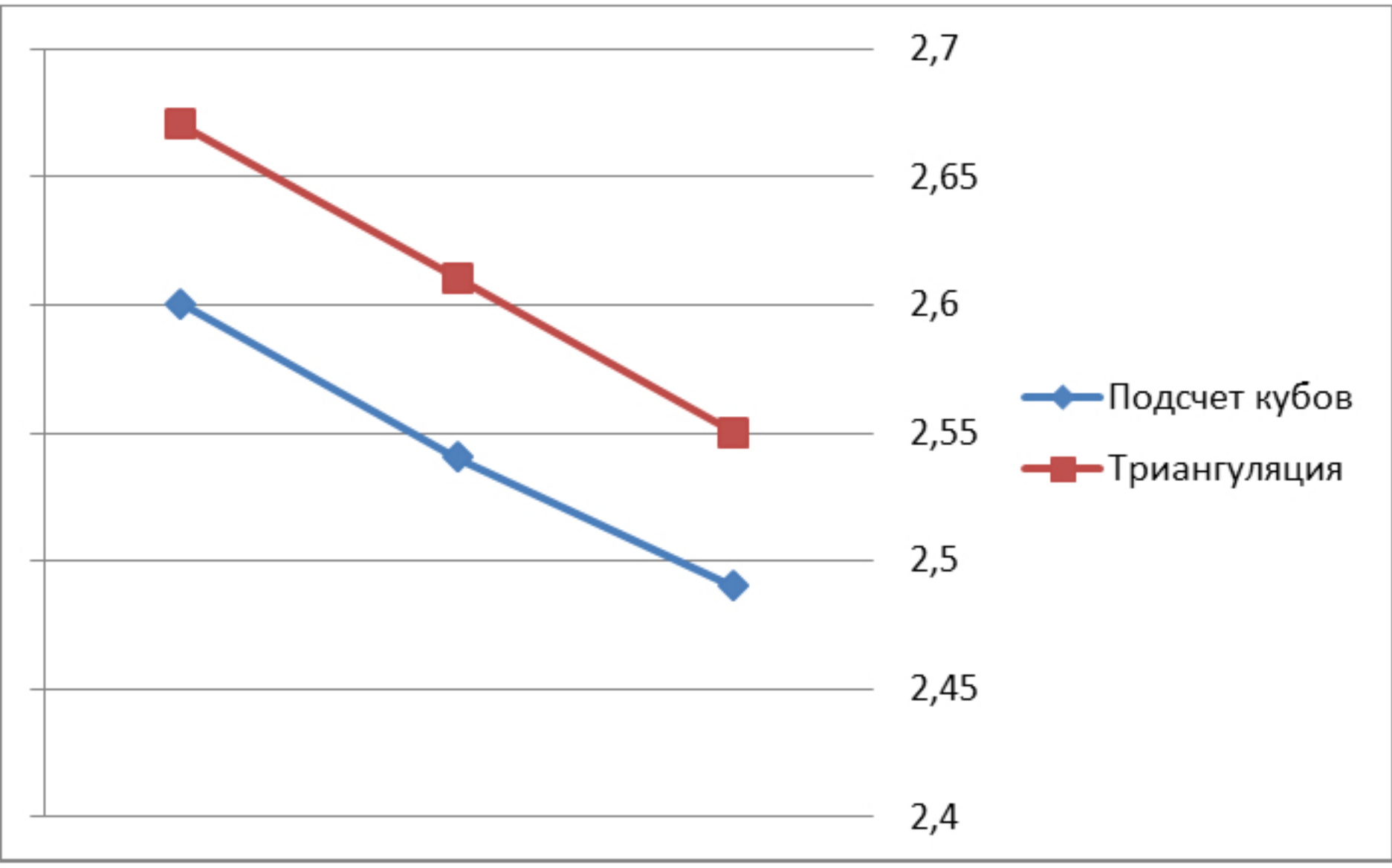


Рис. 6 - Результат построения зависимостей для трех образцов от фрактальных размерностей