

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МЕЗОСТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОШКОВ

Каныгина О.Н., Филяк М.М., Четверикова А.Г.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Создание керамических материалов со стабильными физико-механическими свойствами по-прежнему требует разработки новых методов их исследования. Основные свойства материалов закладываются уже на стадии формирования структуры керамической массы: минералогического, химического и дисперсного состава частиц, их удельной поверхности и качества самой поверхности. Состояние керамической массы обусловлено как случайными изменениями параметров самой системы, так и внешними воздействиями. Адекватно оценить реальные процессы, происходящие в дисперсной системе, возможно, если выбрать такие методы оценки ее морфологии, которые охарактеризуют не только отдельные элементы, но и свойства системы в целом.

Традиционные методы количественной оптической и электронной микроскопии не способны решить эти задачи, в то время как современные статистические методы, базирующиеся на подходах синергетики, теории диссипативных структур [1], позволяют охарактеризовать не только мезоструктуру поверхности образцов, но и процессы ее изменения-агломерации или диспергирования - под действием внешних воздействий.

Целью данной работы является определение возможности использования фрактального- и вейвлет-преобразования для сравнительного анализа мезоструктур порошков природной глины по оптическим изображениям поверхности образцов.

Объектами исследования служили порошки трех фракций природной монтмориллонит содержащей глины с размерами частиц 40, 160 и 630 мкм (рисунок 1).

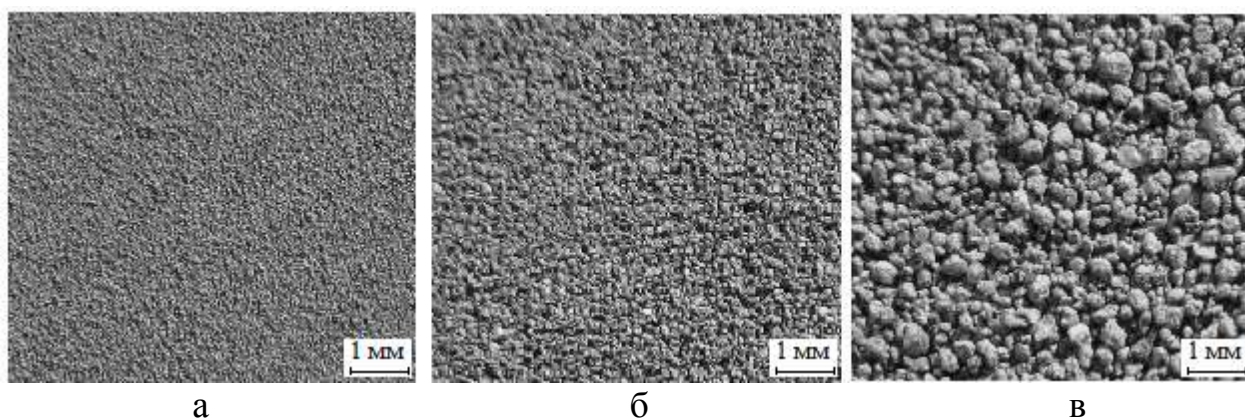


Рисунок 1- Фотографии монодисперсных фракций образцов с размерами частиц 40 (а), 160 (б), 630 (в) мкм

Фрактальный анализ морфологии дисперсных образцов проводили с использованием программы ImageJ и дополнительного модуля FracLac 2.5 [2]. Определение фрактальной размерности выполняется методом сеток, при котором изображение объекта разбивается на множество ячеек заданных размеров. Сканирование изображения дисперсных систем осуществляется за несколько циклов, при этом на каждом последующем цикле размеры ячеек сетки увеличиваются. Фрактальная размерность D_s анализируемого объекта вычисляется по методике [3].

Значимым параметром при описании стохастических фрактальных структур является лакуарность. Термин «лакуарность» был введен Мандельбротом [4] в качестве меры неоднородности заполнения пространства объектом. Мерой лакуарности (Λ) является изменение плотности изображения образца при сканировании сеткой с ячейками различных размеров. Для ее расчета используется методика [5].

Зависимость фрактальной размерности и лакуарности от размеров частиц монодисперсных порошков приведены на рисунке 2.

Как известно, фрактальная размерность характеризует форму поверхности объекта и представляет собой показатель меры заполнения пространства фрактальной структурой. Уменьшение фрактальной размерности связано, по нашему мнению, с ростом размером частиц, и, как следствие уменьшением показателя меры заполнения пространства фрактальной структурой. Изменение величины D_s влечет за собой одновременное изменение лакуарности. Чем выше лакуарность, тем больше в изучаемом распределении имеется пустых областей.

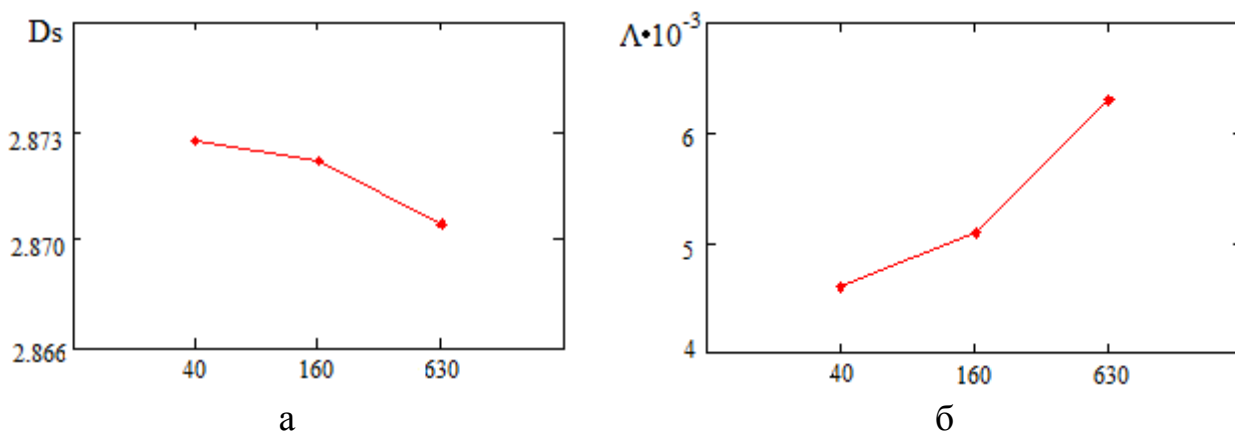


Рисунок 2 – Зависимость фрактальной размерности (а) и лакуарности (б) от размеров частиц монодисперсных порошков

К числу вероятностных подходов для анализа свойств диссипативных систем относится получивший широкое распространение вейвлет-анализ. Его основу составляет разложение сигнала по функциям, называемым базисными вейвлетами. Вейвлеты представляют собой особые функции в виде коротких волн с нулевым интегральным значением и с локализацией по оси координат, способных к сдвигу по этой оси и масштабированию (растяжению/сжатию). Результатом вейвлет – преобразования является спектрограмма $W(a, b)$ –

функция двух переменных: параметра так называемого «масштаба» вейвлета – a и параметра b , условно называемого «сдвигом» вейвлета. Спектрограмма представляет значения вейвлет – коэффициентов в плоскости масштаб – координата.

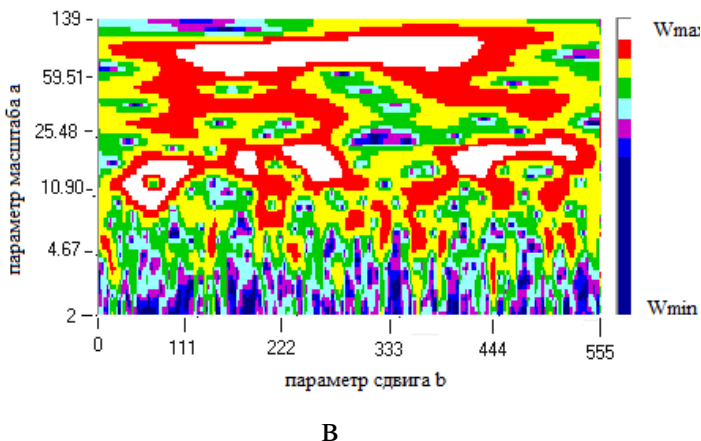
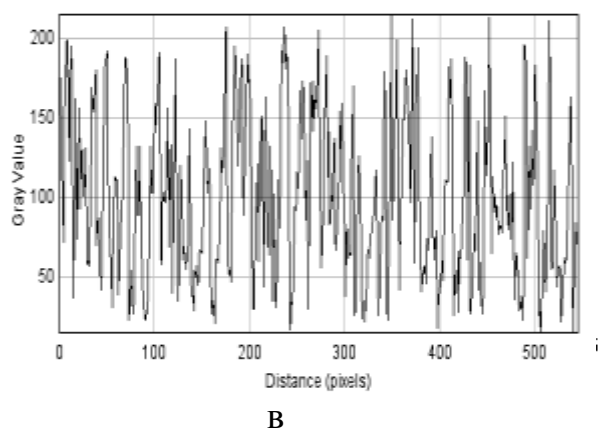
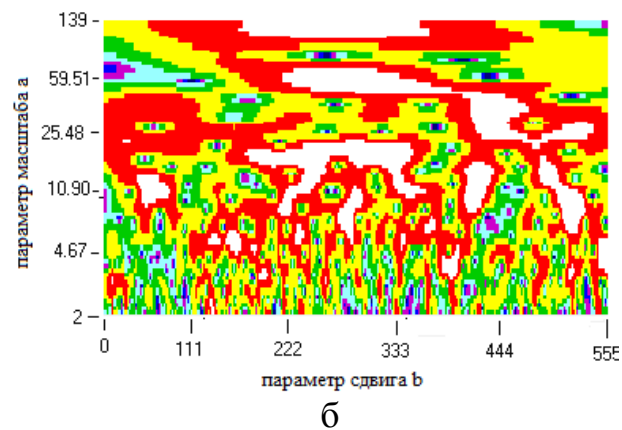
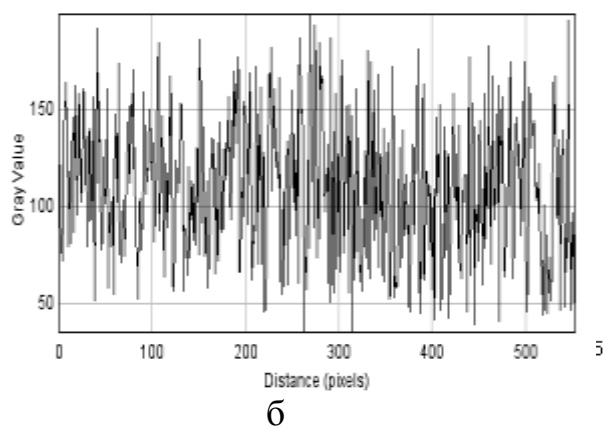
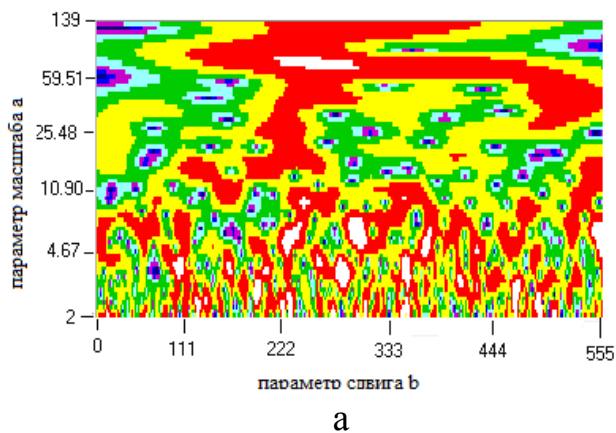
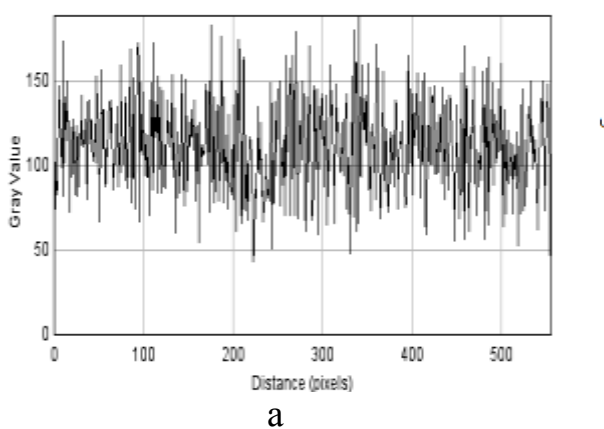


Рисунок 3 – Профили сечения поверхностей

размеры частиц монодисперсных образцов: а - 40, б - 160, в - 630 мкм

Рисунок 4 – Вейвлет-спектрограммы поверхностей

В нашем случае по оси абсцисс отложена координата вдоль сечения изображения образца, измеряемая в пикселях. По оси ординат откладывается величина масштабирования базисного вейвлета. Многие исследователи называют подобный вейвлет-анализ "математическим микроскопом" [6]. Если

применить эту аналогию, то параметр сдвига b устанавливает точку фокусировки микроскопа, масштабный коэффициент a – его увеличение [7].

При помощи программы ImageJ получали профили поверхности в виде зависимости интенсивности точек цифрового изображения от пространственной координаты, представленные на рисунке 3. Вейвлет – анализ полученных профилей проводили с использованием программы Spectra Analyzer. Преобразования проводились на основе Morle – вейвлета. В результате были получены спектрограммы поверхностей монодисперсных систем частиц, несущие информацию о распределении неоднородностей различных масштабов на поверхности образцов (рисунок 4).

При этом внизу спектрограммы расположены малые значения масштаба, представляющие детальную картину рельефа, а вверху – большие значения, дающие обобщенную картину [4].

Значение коэффициентов вейвлет – преобразования в точке тем больше, чем сильнее корреляция между вейвлетом данного масштаба и поведением профиля в окрестности этой точки. Величина коэффициентов корреляции определяет цвет соответствующей области вейвлет – спектрограммы: белый цвет соответствует - максимуму, а темно синий – минимуму совпадений.

Вейвлет-спектр первой фракции (рисунок 4а) показывает, что корреляция между профилем поверхности и вейвлетом является достаточно сильной на первом и втором масштабе. Это соответствует морфологии образца, состоящего из мелких частиц (40 мкм). На спектрограмме второй фракции (рисунок 4 б) вейвлет-коэффициенты на первом масштабе несколько уменьшаются (больше лиловых и бирюзовых участков), а на втором и третьем масштабах увеличиваются, то есть поверхность становится крупнозернистой. На вейвлет-спектрограмме третьего образца образце (рисунок 4 в) на малых значениях масштаба появляются темно-синие участки, то есть полностью отсутствует корреляция между профилем поверхности и вейвлетом данного масштаба. Напротив, значения вейвлет-коэффициентов увеличиваются на третьем и четвертом масштабах (больше белого и красного цвета). Это соответствует морфологии поверхности с размером частиц 630 мкм.

Таким образом, используя методы фрактального и вейвлет-анализов можно отслеживать динамику изменения в мезоструктуре дисперсных систем и отношения структурных параметров при большой выборке измерений.

Список литературы

1 Ролдугин, В.И. Свойства фрактальных дисперсных систем / В.И. Ролдугин // Успехи химии. – 2003. – № 72 (11). – С. 1027-1054.

2. Программный модуль FracLac 2.5 [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://imagej.nih.gov/ij/plugins/fractalac/FLHelp/Introduction.htm> – 02.12.2016.

3. Каныгина, О. Н. Фрактальный подход к анализу поверхностей керамических материалов / О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова, М. М. Филяк, А.А Огерчук // Стекло и керамика. – 2015. – № 12. – с. 11 – 16.

Kanygina, O. N. Fractal Approach to the Analysis of Ceramic Surfaces / O. N. Kanygina, A. G. Chetverikova, M. M. Filyak, et al. // Glass and Ceram. – 2016. – Vol. 72, Iss. 11. – P. 444-448.

4. *Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы: перевод с английского / Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с. – ISBN 5-93972-108-7.*

5. *Филяк, М. М. Фрактальный формализм в применении к анализу СВЧ-модификации нативной глины / М. М. Филяк, А. Г. Четверикова, О. Н. Каныгина, Л. С. Багдасарян // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2016. – т. 18. - № 4. – С. 578-585.*

4. *Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1996. – т. 166, № 11. – С. 1145-1170.*

7. *Филяк, М.М. Анодирование алюминия в щелочных электролитах: кинетика образования, морфология и свойства пленок Автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 01.04.07. – Ульяновск: ООО ИПК Университет, 2014. – 22с.*

