

ВЫЯВЛЕНИЕ ИЕРАРХИИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ВРЕМЕН ХАОТИЧЕСКИХ РЯДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Г.В.Встовский

Институт химической физики им.Н.Н.Семенова РАН
vstovsky@polymer.chph.ras.ru

В работах (Vstovsky, 2006; Встовский и др., 2006) предложен новый метод выявления иерархии корреляционных длин в микро- и наноструктурах по данным сканирующей зондовой, электронной или оптической микроскопии. Приложения метода к анализу поверхностей объектов разной физико-химической природы (поверхности растворения монокристаллов LiF, полимерные трековые мембраны, шунгитовые породы с разным содержанием углерода, полимерные механохимические покрытия свинцовых шаров, фуллереновые наноструктурные пленки (Нащекин и др., 2006)), представленных четырьмя разными типами данных (топография и фазовый контраст атомно-силовой микроскопии, электронная сканирующая микроскопия, фотографии), демонстрируют его эффективность в количественном описании сложных иерархических систем. Метод был назван методом анализа кривизн структурных функций (МАКСФ). МАКСФ состоит в вычислении структурных функций (СФ), их сглаживании и вычислении отрицательных вторых производных сглаженных СФ. Положения максимумов последних дают оценку масштабов, характеризующих структурную иерархию изучаемой системы. Без каких-либо принципиальных изменений МАКСФ может быть применен к анализу любых, в т.ч. геофизических, данных, представленных в виде цифровых рельефов. В данной работе демонстрируется использование МАКСФ для выявления иерархии характерных корреляционных времен по результатам обработки СФ временных хаотических рядов динамических переменных, получаемых стандартными геофизическими (геохимическими) измерениями – рядов гидрогеохимических показателей по системе скважин и источников Петропавловского полигона на Камчатке за период 1986-1992 гг. (Любушин, 1993, 1994, 1998а,б). Данные обрабатывались методом скользящего окна (МСО), позволяющем представить ряд динамической переменной в виде последовательности величин того или иного параметра, вычисленного для каждого заданного положения окна, заданной длины (координатой окна считается положение его «переднего края»).

СФ предоставляют эффективный инструмент теоретического и экспериментального исследования хаотических систем и процессов, например, турбулентности (Frisch, 1995). Для динамической переменной $h(t)$ СФ порядка p рассчитывается по формуле

$$\Phi^p(\Delta) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |h(t_k) - h(t_k + \Delta)|^p, \quad M = N - \Delta / \Delta t \quad (1)$$

где $h(t)$ – величины динамической переменной, например, концентрации какого-либо иона в воде скважины, заданные дискретно в точках $t_k = k\Delta t$ (Δt - шаг дискретизации), N – общее число точек отсчета (длина окна в точках), Δ - лаг (аргумент) СФ, равный $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, (N/2)\Delta t$, p – порядок СФ. Обработка временных рядов на основе сочетания МАКСФ и МСО поясняется на рис.1. На рис.1а представлен ряд, полученный измерением потока гелия (скважина ГК1, 821 отсчет через $\Delta t = 3$ дня, начиная с 03 января 1986 г.). Отрезок этого ряда – окно 300 отсчетов, 900 дней, представлено на рис.1б. Вид рассчитанной СФ этого окна (утолщенная линия) и результат ее сглаживания (тонкая линия) представлены на рис.1в. Отрицательная вторая производная сглаженной СФ показана на рис.1г. Физический смысл СФ состоит в том, что ее рост при малых лагах Δ означает наличие в сигнале корреляционных связей, связанности на таких временах. Прекращение роста СФ

при больших лагах означает разрушение (потерю) взаимосвязанности. Условная граница масштабов этих областей, определенная по тому или иному алгоритму, называется временем корреляции (ВК). В простейших случаях, когда СФ имеет одну «ступеньку», в сигнале имеется только один тип коррелированности, характеризующийся ВК соответственно положению «ступеньки», которое можно определять по положению максимума отрицательной кривизны СФ (при условии положительной первой производной), что и было предложено в работе (Vstovsky, 2006). Там же на модельных и реальных объектах была показана эффективность этого подхода к определению ВК по сравнению с многопараметрической параметризацией СФ. Такой подход позволяет легко определять положения нескольких «ступенек» СФ, отвечающих наличию в сигнале иерархии процессов с различными ВК. На рис.1г показан случай наличия в сигнале трех ВК, различающихся примерно в 3 раза. В дальнейшем условимся обозначать ВК T_1, T_2, T_3, \dots начиная с наименьшего.

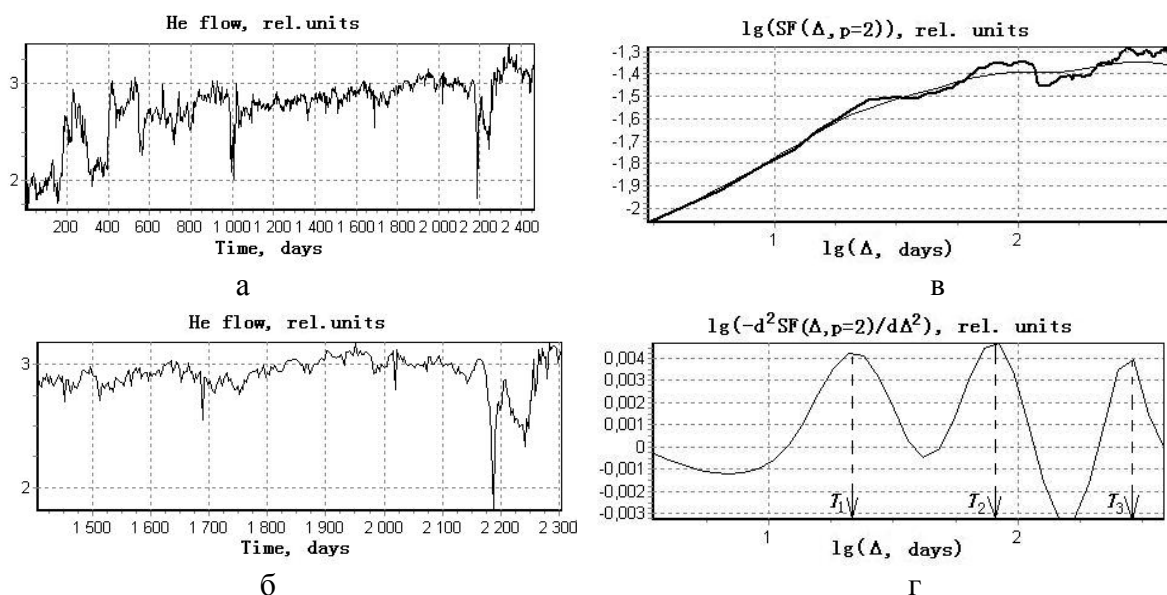


Рис.1. МАКСФ в обработке временных рядов на основе МСО.

Результаты применения предлагаемого подхода к анализу рядов гидрогеохимических показателей по системе скважин и источников Петропавловского полигона на Камчатке за период 1986-1992 гг., скважина ГК1, представлены на рис.2. Анализировались потоки метана, гелия, азота, ионов гидрокарбоната и хлора, аргона, кремниевой кислоты, углекислого газа, расход воды и изменения температуры. Пример данных по гелию представлен на рис.1а. Все данные обрабатывались МОС с окном 900 дней со сдвигом на 9 дней. Графики рис.2 построены для двух первых ВК, рассчитанных по МАКСФ с помощью программы SplitSeries, специально разработанной для такого типа задач. В таблице 1 приведены данные о землетрясениях на Камчатке за анализируемый период. Жирным шрифтом выделены крупные землетрясения, моменты которых отмечены стрелками на рис.2. Из сопоставления данных табл.1 и рис.2 видно, что имеется корреляция между отмеченными событиями и падением ВК либо резким, за 30-50 суток до события, либо плавным в течение 200-300 суток. Особенно четко это видно для пятого и седьмого, самых сильных, событий (две правые стрелки) на всех приведенных кривых. Такое поведение ВК свидетельствует о разрушении временных корреляций эндогенных процессов в земной коре, видимо, вызванном нарушением или неустойчивостью пространственной структуры коры. Другие данные, помимо тех, для которых приведены результаты на рис.2, не позволяют выявить указанные корреляции, что дает информацию для выявления типов процессов, в результате которых происходят землетрясения в

данном регионе. Следует отметить, что вариации длины окна позволяют более четко вывить эти изменения ВК для разных событий.

Таблица 1. Данные ОМСП ИВ ДВО РАН о землетрясениях на Камчатке за 1986-1992 гг.

Дата	День	Магн.	Тип	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	Класс	Бал.	ГЦР, км
17.06.1986	168	5,0	взброс	53.78	160.66	40	13.5	4-5	160
06.10.1987	644	6,6	взброс	52.85	160.24	34	13.9	5	130
15.09.1989	1354	4,9	взброс	53.19	160.01	44	13.0	4-5	105
01.03.1990	1521	5,8	взброс	53.29	160.23	24	13.5	4-5	120
19.12.1990	1814	6,1	взброс	52.77	160.65	24	13.5	2	155
08.04.1991	1924	4,7	сдвиг	52.36	158.21	139	14.0	4-3	170
02.03.1992	2253	7,1	н/о	52.82	159.99	40	15.0	5-6	115

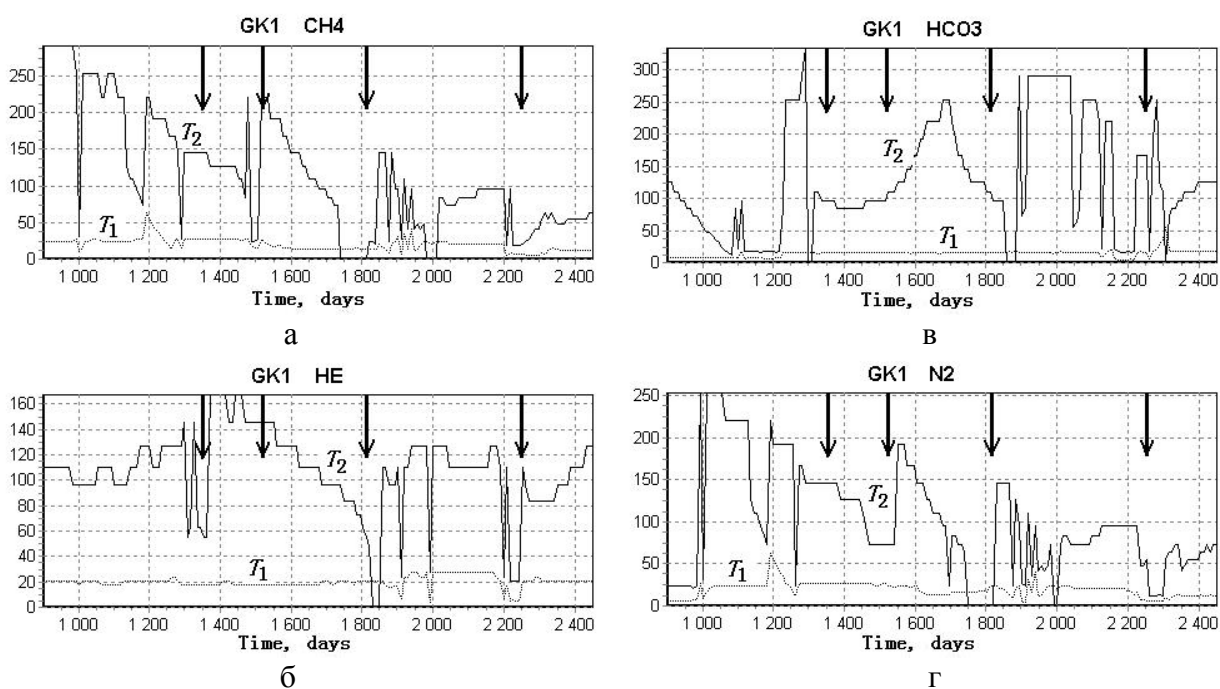


Рис.2. Результаты вычисления двух наименьших ВК (в сутках) для потоков метана (а), гелия (б), гидрокарбоната (в) и азота (г), полученных на скважине ГК1 Петропавловского полигона. Стрелками отмечены 4 крупных землетрясения, см. табл.1.

Использованные данные не позволили получить корреляций изменений ВК с моментами первых двух событий, т.к. для этого требуется более продолжительный период наблюдений перед ними. Шестое событие с магнитудой 4,7 не выявляется, видимо, в силу его недостаточной силы, больших удаления и глубины и типа подвижек.

Полученные результаты говорят об эффективности предлагаемого подхода в анализе временных рядов геохимических параметров, возможности разработки метода дополнительного количественного мониторинге динамики корреляций эндогенных процессов в земной коре. Описанный подход может служить также основой для разработки нового метода обнаружения среднесрочных предвестников крупных землетрясений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 04-02-16850. Автор выражает благодарность проф. С.Ф.Тимашеву за дискуссии и стимуляцию исследований и д.ф.-м.н. А.А.Любушину за предоставление данных.

Список литературы

Frisch U. Turbulence. The Legacy of A.N.Kolmogorov. Cambridge Univ. Press, 1995.

Vstovsky G.V. Factual Revelation of Correlation Lengths Hierarchy in Micro- and Nanostructures by Scanning Probe Microscopy Data. Materials Science (Medziagotyra) (Kaunas), 2006, v.12, N3, 262-270.

Встовский Г.В., Соловьева А.Б., Тимашев С.Ф., Зархина Т.С., Тимофеева В.А., Нецадина Л.В. Выявление иерархической структуры механохимических полимерных покрытий металлических шаров по данным оптической микроскопии. Заводская лаборатория, 2006, N12, в печати.

Любушин А.А. Анализ канонических когерентностей в задачах геофизического мониторинга./ Изв. РАН. Физика Земли. 1998а. N 1. С. 59-60.

Любушин А.А. Классификация состояний низкочастотных систем геофизического мониторинга./ Изв. РАН. Физика Земли. 1994. N 7-8. С. 135-141.

Любушин А.А. Многомерный анализ временных рядов систем геофизического мониторинга./ Изв. РАН. Физика Земли. 1993. N 3. С. 103-108.

Нащекин А.В., Колмаков А.Г., Встовский Г.В., Баранов Е.Е. Формирование кластеров при синтезе наноструктурных пленок С60-CdTe Физика и химия обработки материалов, 2006, №4, с.26-34.