

С Е Й С М О Л О Г И Я

УДК 550.348

A. У. АБДУЛЛАЕВ, В. Ф. ОСТАПЕНКО, А. П. СТИХАРНЫЙ, Г. Е. ТУКЕШОВА

ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

(Представлена академиком НАН РК А. Джакеловым)

Определены фрактальные размерности временных рядов флюидного режима и его отдельных составляющих. Установлено, что составляющие разной генетической природы отличаются значением фрактальной размерности. Это доказывает перспективность использования фрактального анализа для исследования флюидного режима.

С 50-х гг. прошлого столетия американским математиком Б. Мандельбротом [1] введено понятие "фрактал", что означает объект, состоящий из частей, которые в некотором смысле подобны целому. Фракталы и их свойства описаны в ряде работ [2, 3]. Известны приложения понятия фрактальных свойств к геологическим объектам [4], однако до настоящего времени фрактальный анализ не применялся в исследованиях проблем современной геодинамики, в том числе сейсмических процессов, флюидного режима (Фр) [5] земной коры и различных геофизических полей. В статье приведены результаты исследований возможности использования фрактального анализа для изучения временных вариаций параметров Фр.

Существует много способов определения фрактальной размерности временных рядов [1–4]. В основу большинства из них положена методика определения показателя Херста H , на основе которого фрактальная размерность D_H находится из соотношения $D_H = A_H \pm H$, где константа A_H и знак перед H зависят от способа. Для выбранного нами способа оказалось, что $A_H = 1$, а перед H следует ставить знак минус.

При вычислениях использовалась следующая схема. Сначала строится график временного ряда исследуемого параметра. При этом по оси X откладывается время, а по оси Y – значения данного параметра. Пусть число членов ряда равно K .

Для $k = 0, 1, \dots, K$ строим ряд $X_k = \{x_i^k\} =$

$= \left\{ y_{i+2^k-1} \right\}_{i=1}^{N_k}$. Затем для данного ряда находим некоторое число T_k , объяснение которому будет дано далее. После этого в двойном логарифмическом масштабе ($\ln T_k / \ln N_k$), где N_k – k -й член ряда, по полученным точкам строится график, который методом наименьших квадратов аппроксимируется прямой (рис. 1).

Численное значение показателя Херста H в данном случае равно угловому коэффициенту прямой, полученной, как указывалось выше, путем аппроксимации. У этой прямой угловой коэффициент равен $-0,29$. Тогда из приведенного соотношения находим, что фрактальная размерность ряда равна $D_H = 1,29$.

В качестве критерия себе подобного способа определения фрактальной размерности временного ряда выбран введенный нами коэффициент самоподобия временного ряда, выражаемый как $E = 1 - R$, где R – размах угловых коэффициентов отрезков, соединяющих соседние точки на построенном графике, характеризующий степень разбросанности точек относительно аппроксимирующей прямой. На рис. 1 минимальный наклон $-0,12$ (между 4-й и 5-й точками), максимальный $-0,48$ (между 3-й и 4-й точками), поэтому коэффициент самоподобия равен $0,4$.

Вычислены фрактальные размерности и коэффициенты самоподобия для временных рядов суточных и среднемесечных значений как в целом по Фр, так и для отдельных его составляющих по гидрохимическим станциям Алматинского прогностического полигона (АПГ). В качестве составляющих Фр использовались: D – дебит источника воды; A – концентрация анионов; K – концентрация катионов; G – газовый состав, определяемый суммарной объемной концентрацией газов, содержащихся в воде; F – физический параметр, складывающийся из таких характеристик, как pH и eH; S – концентрация кремниевой

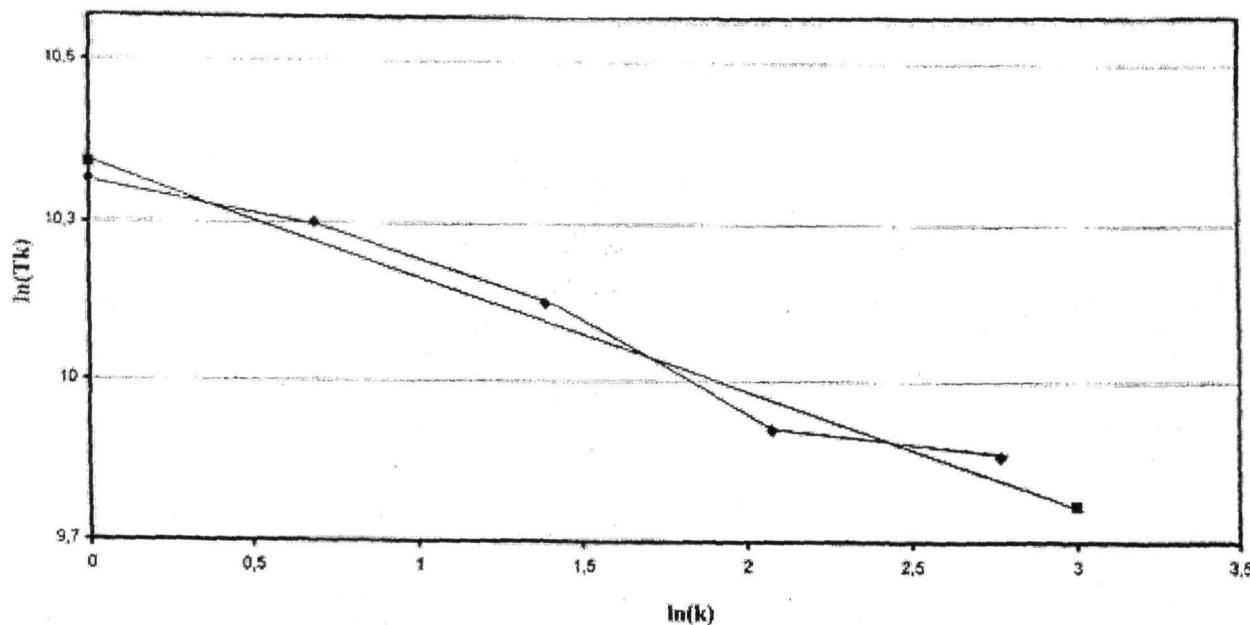


Рис. 1. Иллюстрация определения фрактальной размерности временного ряда часовых значений объемной концентрации радона на станции «Чушкалы» за 2001 г.

кислоты. Для среднегодовых значений расчеты не проводились. Это связано с тем, что наибольший период наблюдений по станциям составляет 18 лет. Такое число слишком мало, чтобы можно было выполнять подобные вычисления. Полученные данные приведены в табл. 1, 2.

Из этих таблиц видно, что среднесуточные значения фрактальных размерностей и коэффициентов самоподобия мало отличаются от станции к станции. Следовательно, в смысле фрактальных размерностей и коэффициентов самоподобия станции АПП близки между собою. При переходе от суточных значений к среднемесячным фрактальные размерности увеличиваются, а коэффициенты самоподобия уменьшаются. Причем у последних различия между станциями возрастают. Это объясняется тем, что мы переходим к более коротким рядам и количество месяцев

в исследуемом временном интервале недостаточно велико для подобных расчетов.

Для суточных и среднемесячных коэффициентов самоподобия параметра D по скважине станции «Нижняя Каменка» получены нулевые значения (см. табл. 2), поэтому корректное определение фрактальной размерности оказалось невозможным. Такое обстоятельство, скорее всего, можно объяснить тем, что режим этой скважины часто нарушается большим отбором воды для технических нужд. В связи с изложенным первая точка на графике фрактальных размерностей по станции «Нижняя Каменка» не должна приниматься во внимание.

Из табл. 1 видно, что фрактальные размерности для суточных значений у большинства параметров флюидного режима мало отличаются друг от друга. То же относится и к среднемесячным

Таблица 1. Фрактальные размерности составляющих флюидного режима по станциям АПП (среднемесячные/суточные значения)

Станции	D	A	K	G	F	S
«Алма-Арасан»	1,62/1,61	1,31/1,12	1,47/1,13	1,22/1,12	1,29/1,36	1,37/1,09
«Горельник»	1,03/1,05	1,28/1,14	1,30/1,13	1,37/1,15	1,24/1,28	1,24/1,09
«Калкан»	1,75/1,38	1,39/1,09	1,19/1,18	1,21/1,11	1,21/1,28	1,17/1,07
«Курам»	1,37/1,70	1,34/1,30	1,16/1,18	1,23/1,29	1,19/1,31	1,23/1,16
«Н. Каменка»	1,00/0,83	1,39/1,09	1,21/1,15	1,26/1,13	1,16/1,25	1,39/1,12
«Тай-Тургень»	1,56/1,68	1,49/1,16	1,28/1,20	1,26/1,23	1,29/1,38	1,42/1,12
«Чушкалы»	1,61/1,56	1,31/1,10	1,21/1,23	1,29/1,18	1,13/1,40	1,29/1,15

Таблица 2. Коэффициенты самоподобия составляющих флюидного режима
(среднемесячные/суточные значения)

Станции	D	A	K	G	F	S
«Алма-Арасан»	0,59/0,83	0,76/0,95	0,75/0,72	0,48/0,73	0,57/0,86	0,19/0,86
«Горельник»	0,66/0,68	0,82/0,72	0,47/0,90	0,76/0,83	0,51/0,70	0,84/0,89
«Калкан»	0,59/0,91	0,90/0,84	0,38/0,90	0,23/0,67	0,52/0,75	0,53/0,89
«Курам»	0,23/0,83	0,27/0,92	0,51/0,92	0,07/0,93	0,24/0,78	0,05/0,79
«Н. Каменка»	0/0	0,24/0,88	0,62/0,85	0,47/0,87	0,62/0,89	0,34/0,87
«Tay-Тургень»	0,49/0,86	0,57/0,88	0,45/0,94	0,33/0,87	0,53/0,69	0,81/0,90
«Чушкалы»	0,61/0,77	0,50/0,84	0,68/0,93	0,26/0,94	0,61/0,78	0,53/0,87

значениям. Однако для динамического режима эти значения выпадают из общего ряда фрактальных размерностей. Вероятно, это объясняется тем, что условия, определяющие образование динамического режима, отличны от условий формирования химических свойств подземных вод. Для физического параметра F значения фрактальной размерности также выделяются из общего ряда фрактальных размерностей других параметров (см. рис.2). Очевидно, и здесь причина заключается в различиях условиях образования. Следовательно, фрактальная размерность позволяет количественно выделять из общей совокупности параметров, характеризующих Фр, те, которые имеют близкую или различную по происхождению природу.

Графики, построенные по полученным данным (рис. 2), показывают, что все станции

можно разделить на две группы: первая – «Алма-Арасан», «Калкан», «Курам», «Tay-Тургень», «Чушкалы»; вторая – «Горельник».

Эти группы отличаются тем, что в первой из них фрактальная размерность динамического режима больше фрактальных размерностей остальных параметров, но для станции «Горельник» наблюдается обратное соотношение. По-видимому, такое обстоятельство обусловлено различием гидрогеологических условий, формирующих Фр. Если считать, что коэффициент самоподобия служит мерой не только для самого ряда, но и мерой подобия между другими временными рядами, то этот показатель может быть использован для выбора наиболее взаимосвязанных между собой рядов, имеющих общие генетические корни их формирования. Более конкретное значение фрактальных размерностей и коэффи-

Фракт.
разм.

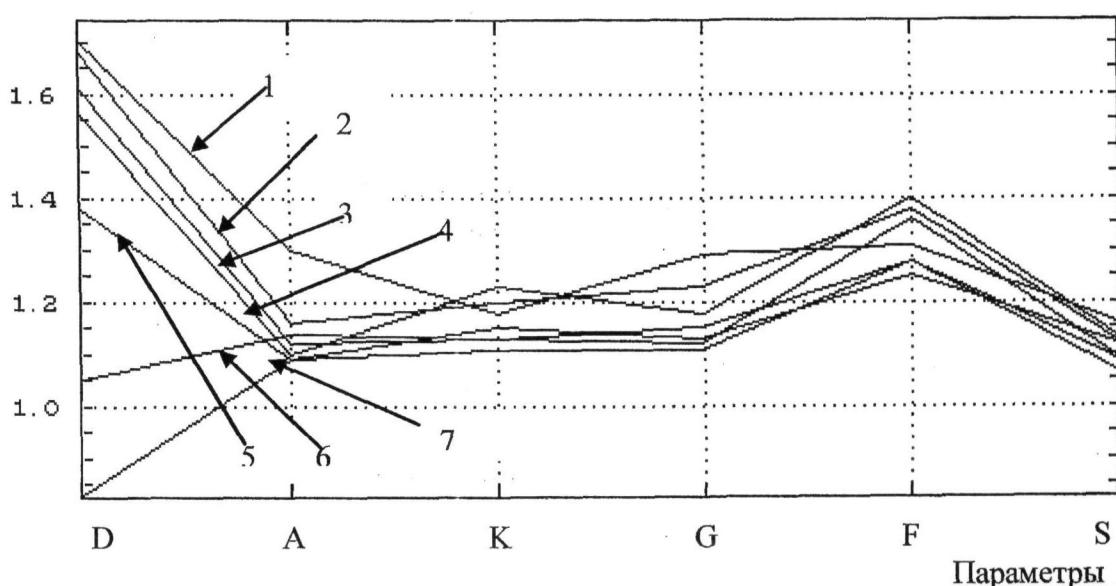


Рис. 2. Фрактальные размерности рядов среднесуточных значений компонентов флюидного режима по станциям АПП:
1 – «Курам»; 2 – «Tay-Тургень», 3 – «Алма-Арасан», 4 – «Чушкалы», 5 – «Калкан», 6 – «Горельник»,
7 – «Нижняя Каменка»

циентов самоподобия, по-видимому, будет раскрыто в последующих этапах работы в результате исследования геодинамических процессов в ГТХ, ГГД и полях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mandelbrot B.B., Freeman W.N. *The Fractal geometry of Nature*. New York, 1983. P. 488.
2. Федор Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. С. 263.
3. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М., 2000. 350 с.
4. Иванюк Г.Ю. Фрактальные геологические среды: размерность, основные типы, генетические следствия // Физика Земли. 1977. № 3. С. 21-31.
5. Абдуллаев А.У., Остапенко В.Ф. и др. Предваритель-

ные результаты исследования связи флюидного режима подземных вод Юго-Восточного Казахстана с сейсмическими, космофизическими и атмосферными факторами // Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска: Доклады Казахстанско-Российской международной конференции, посвященной году России в Казахстане. 22-24 июня 2004 года. Алматы, 2004. 254 с.

Summary

In the paper there have been calculated time-series fractal dimensions of fluid conditions and particular components thereof. It has been shown that the components of different genetic origins had different values of fractal dimension. It proves that fractal analysis opens up new opportunities in fluid condition studies.

*Институт сейсмологии МОН РК,
г. Алматы*

Поступила 4.06.06г.