

УДК 622.276.5:550.064.45

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Б.А.Судейманов, Ф.С.Исмаилов, О.А.Дышин, Н.И.Гусейнова
(НИПИ "Нефтегаз")

В работе предлагается методика диагностирования текущего состояния пластовой системы на основе мультифрактального подхода, позволяющая своевременно принимать решения по управлению и контролю за разработкой месторождения. В рамках метода мультифрактального флуктуационного анализа промысловых данных исследована динамика изменения обобщенной фрактальной размерности временного ряда значений текущей добычи нефти. Проведенный динамический анализ дает оценку степени самоорганизации процесса разработки с целью выбора наиболее эффективных методов воздействия на пласт и их целенаправленной корректировки на различных этапах эксплуатации месторождения.

Ключевые слова: крупномасштабная фрактальная структура, обобщенная фрактальная размерность, мультифрактальный флуктуационный анализ, мультифрактальный спектр, параметр деформации

Адрес связи: Baghir.Suleymanov@socar.az

DOI: 10.5510/OGP20120200110

Введение

В средах со сложной неупорядоченной структурой (нефтяные залежи) возможна масштабная инвариантность (фрактальность) пространственных и временных форм, что позволяет использовать общие методы моделирования сложнопостроенных сред и облегчает описание протекающих в них процессов.

Причины, которые приводят к образованию крупномасштабных фрактальных структур даже в изначально однородной пористой среде весьма разнообразны. Практически все механизмы необратимого роста могут проявить себя в процессах нефтегазодобычи. Так, известно [1, 2], что фракталы могут образовываться вязкими пальцами, возникающими при вытеснении из пористой среды одной жидкости другой. Можно ожидать поэтому, что крупномасштабные фрактальные структуры возникают при закачке в пласт воды, газа и других агентов для поддержания пластового давления, а также при вскрытии пласта за счет проникновения фильтратов буровых и цементных растворов.

Возможности фрактального подхода при анализе процесса выработки запасов нефти из залежи рассмотрены в работах [3, 4]. В этих работах исследуемая залежь рассматривается как однородный фрактал, определяемый одним показателем скейлинга и, стало быть, одним значением фрактальной размерности, характеризующим залежь в целом. Кроме того, полученные в [4] результаты основаны на общих положениях теории перколяции, которые применимы только к мелкомасштабным фрактальным структурам.

В настоящей работе исследуется поведение временного ряда значений текущей добычи нефти на основе метода мультифрактального флуктуационного анализа с устранением масштабно-зависимых трендов (МФФА) [5], заключающегося в построении одной из основных характеристик описываемого временным рядом мультифрактала - обобщенной фрактальной размерности Реньи [6].

Мультифрактальный подход к анализу процесса добычи нефти

В отличие от простых самоподобных объектов, для количественного описания которых достаточно одной величины (размерности Хаусдорфа или показателя скейлинга), сложные фракталы (мультифракталы) характеризуются целым спектром показателей, и размерность Хаусдорфа является лишь одним из них [7].

Метод мультифрактального флуктуационного анализа основан на вычислении обобщенных фрактальных размерностей (размерностей Реньи) с помощью обобщенных показателей Херста $h(q)$ и показателя деформации q , $-\infty \leq q \leq +\infty$, соответствующих исследуемому временному ряду. В качестве показателя деформации q в работе предлагается использовать любые безразмерные характеристики процесса разработки месторождения, имеющие физический смысл (например, обводненность добываемой продукции, газовый фактор, и т.д.). Размерность D_q отражает локальные свойства временного ряда, определяющие предсказуемость изменений случайной величины, представленной данным рядом наблюдений.

Величина q при $q = 0$, $q = 1$ и $q = 2$ совпадает соответственно с размерностью Хаусдорфа, информационной и корреляционной размерностью множества, при этом:

$$D_2 \leq D_1 \leq D_0 = d_H \quad (1)$$

где d_H – фрактальная размерность Хаусдорфа.

По определению Мандельброта [8], фрактал – это множество, размерность Хаусдорфа которого строго больше топологической размерности. Чем больше степень упорядоченности множества, тем ближе его размерность к топологической размерности. Если $D_q = \text{const}$, т.е. не зависит от q , то, данное множество точек представляет собой обычный, регулярный фрактал, который характеризуется всего лишь

одной величиной – фрактальной размерностью Хаусдорфа d_H . Напротив, если функция изменяется с изменением q , то рассматриваемое множество точек является мультифракталом. Таким образом, функция D_q показывает, насколько неоднородным является исследуемое множество точек.

Вычисление размерности D_q производится методом мультифрактального флуктуационного анализа, примененным к ряду наблюдений показателей текущей месячной добычи нефти, воды и закачиваемой жидкости, при соответствующих каждому месяцу значениях параметра q .

Фрактальная геометрия порового пространства пласта естественным образом отражается на фрактальной структуре кривой $x(t)$, заданной наблюдениями $\{x_i(t)\}_1^N$. Однако, в отличие от работ [3, 4], в которых описываемое этим временным рядом множество рассматривается как однородный фрактал (монофрактал), будем рассматривать данное множество как неоднородный фрактальный объект (мультифрактал). Как будет показано ниже (формула (18)), величина D_q непосредственно связана с мультифрактальным спектром $f(a)$, значения которого при различных a равны хаусдорфовой размерности монофракталов $A_{a'}$, входящих в мультифрактальное множество A , описываемое исследуемым временным рядом. Рассматриваемые же в работах [3, 4] фрактальные размерности процесса выработки запасов и процесса вытеснения нефти водой никак не связаны с размерностью Хаусдорфа, используемой для монофракталов, и с топологической размерностью множества точек, задаваемых временным рядом.

Метод мультифрактального флуктуационного анализа

В рамках мультифрактального подхода вводятся в рассмотрение так называемые частичные суммы (или обобщенные статистические суммы) [7]

$$Z_q(\varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \mu_i^q(\varepsilon) \quad (2)$$

где $N(\varepsilon)$ – число элементов покрытия ε размером исследуемого множества A , μ_i – мера элемента покрытия, $q \in \mathbb{R}$ (\mathbb{R} – одномерное вещественное евклидово пространство, т.е. вещественная ось $(-\infty, +\infty)$). Частичные суммы (2) обобщают определение статистических сумм за счет деформации показателем $q \neq 1$ и определяют в пределе $\varepsilon \rightarrow 0$ меру фрактального множества $Z(q) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} Z_q(\varepsilon)$. Зависимость функции $Z_q(\varepsilon)$ от ε для самоподобных систем имеет степенной характер вида:

$$Z_q(\varepsilon) \sim \varepsilon^{(q-1)D_q} \quad (3)$$

где величина D_q представляет собой характеристику, называемую обобщенной фрактальной размерностью. Коэффициент $q-1$ включен в показатель степени для автоматического выполнения равенства $Z_q(\varepsilon) = 1$, означающего условие нормировки для меры μ .

Обычно используется следующее обозначение:

$$\tau(q) = (q-1)D_q \quad (4)$$

величину $\tau(q)$ называют скейлинговым показателем, характеризующим масштабное подобие, или массовым показателем.

Из (3) находим:

$$D_q = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{1}{q-1} \frac{\ln Z_q(\varepsilon)}{\ln \varepsilon} \right)$$

Пусть текущая добыча нефти на рассматриваемом горизонте залежи описывается временным рядом:

$$x_1, \dots, x_N = \{x_i\}_1^N \quad (5)$$

Алгоритм вычисления обобщенной фрактальной размерности D_q процесса, описываемого рядом (5), использующий установленную в [5] связь величины D_q с обобщенным показателем Херста $h(q)$, состоит из выполнения следующей последовательности шагов:

1. Для исследуемого ряда $\{x_i\}$ (где $i = 0, 1, \dots, N$) следует выделить флуктуационный профиль:

$$Y(i) = x(i) - x$$

где x – среднее значение по ряду.

2. Разобьем полный временной интервал $[1, N]$ на $N_s = \text{integer}(N/s)$ непересекающихся сегментов равной длины, каждый из которых содержит s значений $x_{(v-1)s+1} \dots x_{vs}$ где $v = 1, \dots, N_s$ – номер сегмента. При разбиении рассматриваемых рядов на сегменты, s , с единичным шагом пробегает значения интервала $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$ где s_{\min} и s_{\max} выбираются в соответствии с характером изменения данных [9]. Необходимость выполнения этого условия связана с тем, что, для значений $s \geq s_{\max}$ число сегментов, используемых в процедуре усреднения, становится очень малым, а при значениях $s \leq s_{\min}$ количество элементов в сегменте недостаточно информативно. Таким образом, за пределами указанного интервала теряется статистическая достоверность производимых усреднений по каждому из сегментов. При проведении этой процедуры надо учитывать, что длина временного ряда не всегда кратна шкале s . Поэтому, для того чтобы охватить участок временного ряда, число элементов в котором меньше s , произведем подобное разбиение в обратном направлении, начиная с противоположного края полного интервала $[1, N]$. Получающиеся при этом сегменты пронумеруем индексом $v = N_s + 1, \dots, 2N_s$.

3. Используя метод наименьших квадратов, для профиля $\{Y((v-1)s+i)\}_{i=1, \dots, s}$, отвечающего каждому v -сегменту ($v = 1, \dots, 2N_s$), вычисляем локальный тренд $y_v(i)$, представляющий собой полином, степень которого обеспечивает заданную точность расчета.

4. Находим дисперсию для сегментов v

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2, \quad (6)$$

$$v = 1, \dots, N_s$$

и дисперсию для обратного отсчета интервалов

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[N - (v - N_s)s + i] - y_v(i)\}^2, \quad (7)$$

$$v = N_s + 1, \dots, 2N_s$$

6. Проводим усреднение дисперсии, деформированной показателем q по интервалам, отсчитанным в обоих направлениях:

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F^2(v, s)]^{q/2} \right\}^{1/q} \quad (8)$$

При $q \rightarrow 0$ во избежание расходимости вместо (9) используется выражение:

$$F_0(s) = \exp \left\{ \frac{1}{4N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \ln [F^2(v, s)]^{q/2} \right\} \quad (9)$$

8. Используя логарифмические оси, находим обобщенный показатель Херста $h(q)$, отвечающий скейлинговому соотношению:

$$F_q(s) \sim s^{h(q)} \quad (10)$$

характерному для самоподобных систем [2]. Величина $h(q)$ определяется из соотношения:

$$\ln F_q(s) = h(q) \cdot \ln s$$

и вычисляется с помощью МНК по выборке значений $(\ln F_q(s), \ln s)$, $s = 6, 7, \dots, N/4$.

При фиксированном значении q эта зависимость, представленная в двойных логарифмических координатах, выражается прямолинейным графиком.

Если ряд экспериментальных данных отвечает монофракталу, то обобщенный показатель Херста $h(q)$ в равенстве (10) принимает единственное значение $h(q) = H$, где H – показатель Херста. В случае мультифрактала показатель h приобретает зависимость от параметра деформации q : так, для стационарных рядов $h(0)$ определяет топологическую размерность пространства, содержащего фрактальное множество, $h(1)$ – меру его беспорядка, $h(2)$ – показатель дальних корреляций [2].

Полагая $N_s = N/s$, можно записать (10) в виде:

$$\sum_{v=1}^{N/s} |Y(vs) - Y((v-1)s)|^q \sim s^{qh(q)-1} \quad (11)$$

Для нормализованных значений показателя x :

$$p_s(v) = \sum_{k=(v-1)s+1}^{vs} x_k = Y(vs) - Y((v-1)s) \quad (12)$$

Скейлинговый показатель $\tau(q)$ для частичной суммы Z_{qs} определяется обычно как [5]

$$Z_{q(s)} \equiv \sum_{v=1}^{N/s} |p_s(v)|^q \sim s^{\tau(q)} \quad (13)$$

Из (12) вытекает эквивалентность равенств (11) и (13), откуда получается зависимость:

$$\tau(q) = qh(q) - 1 \quad (14)$$

Из (3) и (14) находим:

$$D_q = \frac{q \cdot h(q) - 1}{q - 1} \quad (15)$$

В рамках стандартной фрактальной идеологии переход от обобщенного показателя Херста $h(q)$ и обобщенной фрактальной размерности к массовому показателю $\tau(q)$ и мультифрактальному спектру достигается с помощью преобразования Лежандра:

$$\tau(q) = qh(q) - 1, \alpha(q) = d\tau/dq, f(\alpha) = q\alpha - \tau(q) \quad (16)$$

Подобно термодинамическим равенствам:

$$G = F + PV, \quad V = \frac{\partial G}{\partial P}$$

связывающим свободную энергию Гельмгольца F , термодинамический потенциал Гиббса G с объемом V и давлением P , преобразование Лежандра

(16) позволяет перейти от одной пары независимых переменных a, f к другой q, τ и в обратном порядке. Произвольный мультифрактал полностью представляется спектральной функцией $f(a)$ или эквивалентной ей зависимостью $\tau(q)$, определяющей согласно (4) спектр фрактальных размерностей D_q . В термодинамике функциям $f(a)$, $a(q)$ отвечает уравнение состояния системы.

Величина D_q выражается через спектральную функцию $f(a)$ по формуле:

$$D_q = \frac{q\alpha(q) - f(\alpha(q))}{q - 1} \quad (17)$$

$$\text{откуда: } f(a(q)) = qa(q) - (q-1) D_q \quad (18)$$

Физический смысл функции $f(a)$ заключается в том, что она представляет собой размерность Хаусдорфа некоего однородного фрактального подмножества A_α из исходного множества A . Отсюда становится понятным термин «мультифрактал». Его можно понимать как некое объединение однородных фрактальных подмножеств (монофракталов) исходного множества A , каждое из которых имеет свое собственное значение фрактальной размерности Хаусдорфа, равное $f(a)$.

Так как в п.3 алгоритма МФФА производится аппроксимация флуктуационного профиля $Y(i)$ некоторой гладкой кривой $y(i)$ (полиномиальным трендом), то топологическая размерность этой кривой будет $d_T = 1$.

Численная реализация и обсуждение результатов

Вычисление обобщенной фрактальной размерности по вышеизложенному алгоритму МФФА показано на примере временных рядов среднесуточной добычи нефти, воды закачиваемой воды на месторождении Forties (Северное море). Исходные месячные данные по технологическим показателям дебита нефти и воды, а также нагнетаемой в пласт воды за период 09/1975 - 04/2002 г.г. по указанному месторождению, взяты из [10] и приведены на рисунке 1.

Фрактальный анализ данных разработки нефтяного месторождения проводился с целью выявления, в какой степени в динамике рассматриваемых процессов проявляются фрактальные признаки - наличие самоорганизации и самоподобия. Только при наличии этих свойств можно делать выводы о сохранении тенденции изменения характера рассматриваемого процесса и наличии связи между прошлым и будущим его изменением. Владея этой информацией, можно выбирать рациональную стратегию разработки месторождения.

С этой целью нами проводился расчет величины D_q последовательно для каждого из трех временных рядов, составленных из месячных данных по добыче нефти, воды и закачки соответственно.

При расчете спектра обобщенных фрактальных размерностей D_q в качестве параметра q нами принята безразмерная величина, равная отношению объемов текущей добываемой нефти и характеризующая долю нефти в добываемой продукции:

$$q = V_H/V_x \quad (19)$$

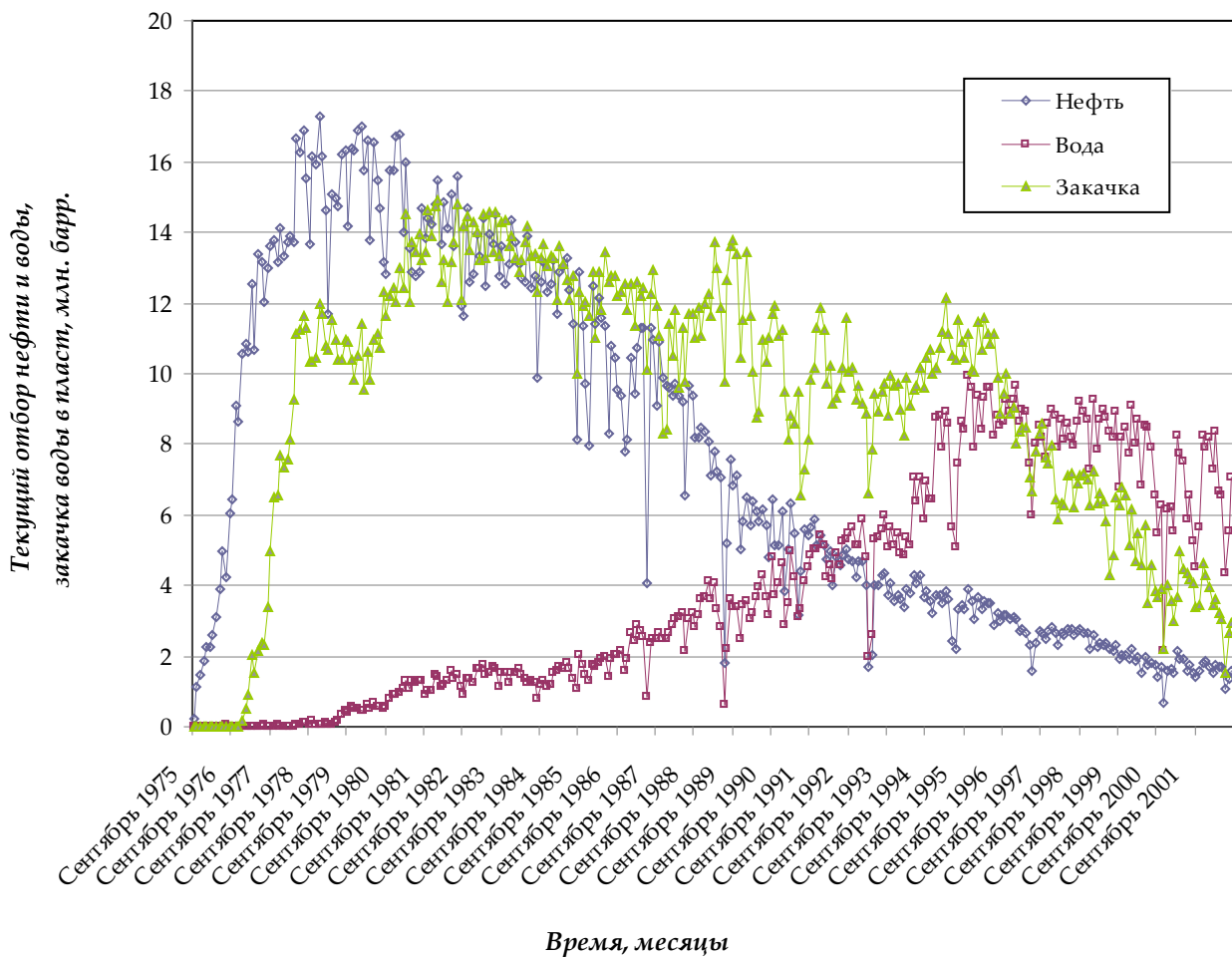


Рис. 1 Динамика отбора нефти, воды и закачки на месторождении Forties (данные взяты из [20])

Значения этого показателя изменяются в единичном интервале и имеют только положительный знак. В связи с этим, основной вклад в сумму (8)-(9) по ν , вносят сегменты, отвечающие большим отклонениям $F^2(\nu, s)$. В случае, если бы значения q были отрицательными, преобладали бы вклады малых флуктуаций.

Согласно [10], о фрактальности исследуемого сигнала можно судить по поведению функции $F_q(s)$. Если она хорошо аппроксимируется прямой в большом диапазоне изменения временных приращений (начиная от самых малых), то можно говорить о фрактальности исследуемого сигнала. В соответствии с этим положением были проведены расчеты и построены в двойном логарифмическом масштабе графики зависимости структурной функции дисперсии $F_q(s)$ от величины приращения времени s в большом диапазоне изменения. Было выявлено, что о мультифрактальности исследуемых процессов можно говорить на участке, охватывающем период с декабря 1978 г. по август 2002 г. В соответствии с характером изменения данных, при разбиении рассматриваемых рядов на сегменты накладываются следующие ограничения: $s_{min} = 20$ и $s_{max} = N/4$. Эти границы выбраны в силу того, что за их пределами для рассматриваемых данных теряется статистическая достоверность производимых усреднений по каждому из сегментов. Значения величины D_q на данном интервале не выходят за пределы допустимых значений. В наших расчетах точность расчета

порядка $\epsilon = 10^{-2}$ достигается при степени аппроксимирующих полиномов $n = 4$. В нашем случае, принимает целые значения из промежутка [20, 71]

По характеру поведения исследуемой системы в рассматриваемый период и по динамике изменения D_q при $q = qi$, $q = q(ti)$, $i = 1, \dots, N$ ($N = 283$) можно разбить ее на следующие этапы: нулевой этап – 1-50 месяцы, в котором отбор нефти происходит в отсутствии или при незначительных объемах закачки воды. Значения D_q изменяются в интервале [1.5, 3]; I этап – 51-84 месяцы – этап взаимодействия двух систем (нефти и воды), характеризующийся повышением объемов нагнетаемой воды для поддержания пластового давления и противоборством двух разных по вязкости жидкостей, что приводит к хаотическим колебаниям фрактального характера с большими по величине значениями из интервала [1.5, 3]; II этап – 85-193 месяцы, в котором происходит выравнивание дебитов нефти и воды и некоторая стабилизация процесса добычи, в результате чего уменьшаются значения величины, колеблясь в интервале [1, 2]; III этап – 194-211 месяцы – переходный период, в котором дебит воды начинает превышать дебит нефти. На участке 193-211 где значения, в основном, уменьшаются, меняясь в диапазоне [1, 1.5], при этом амплитуда хаотических колебаний увеличивается. Этот период разработки характеризуется тем, что увеличение объема закачки приводит не к увеличению добычи нефти, а к обводнению продукции; IV этап – 212-283 месяцы – этап поглощения,

когда дебит воды сравнивается с объемом закачки воды и резко падает дебит нефти, что отражается на увеличении значений величины D_q .

Этапы взаимодействия и поглощения на экспериментальных данных по тому же месторождению Forties были выявлены ранее в работе [10] с применением энтропийного анализа и коэффициента Джини. Мультифрактальный подход дает возможность выявить также и промежуточные этапы II и III. Рост отбора нефти и воды представляет собой конкуренцию (конфликт) на I и II этапах двух систем, одна из которых развивается за счет внутренних ресурсов, а другая (вода) – получает дополнительные ресурсы извне (путем закачки). Несогласованность в развитии рассматриваемых систем может привести к различного рода осложнениям, например, к резкому обводнению, что и наблюдается на III и особенно IV-м этапе (рис.1). Это непосредственно отражается на величине обобщенной фрактальной размерности D_q , $q = q(t)$, значения которой выходят за пределы допустимой области, начиная с некоторого момента времени $t = t^*$. Такое поведение величины D_q может использоваться при выборе технологии воздействия на пласт.

С этой целью нами проводился расчет величины D_q последовательно для каждого из трех временных рядов, составленных из месячных данных по добыче нефти, воды и закачки соответственно. Для каждого из этих рядов находилось значение t^* , при котором D_q впервые становится отрицательным:

- 1) закачка воды - $t^* = 10/1992$;
- 2) нефть - $t^* = 10/1996$;
- 3) вода - $t^* = 10/1999$.

Отсюда следует, что, начиная с момента времени $t^* = 10/1992$, технология закачки воды проводилась без учета гидродинамических процессов в пласте, что, соответственно, инициировало снижение уровня добычи нефти и привело к сильному обводнению

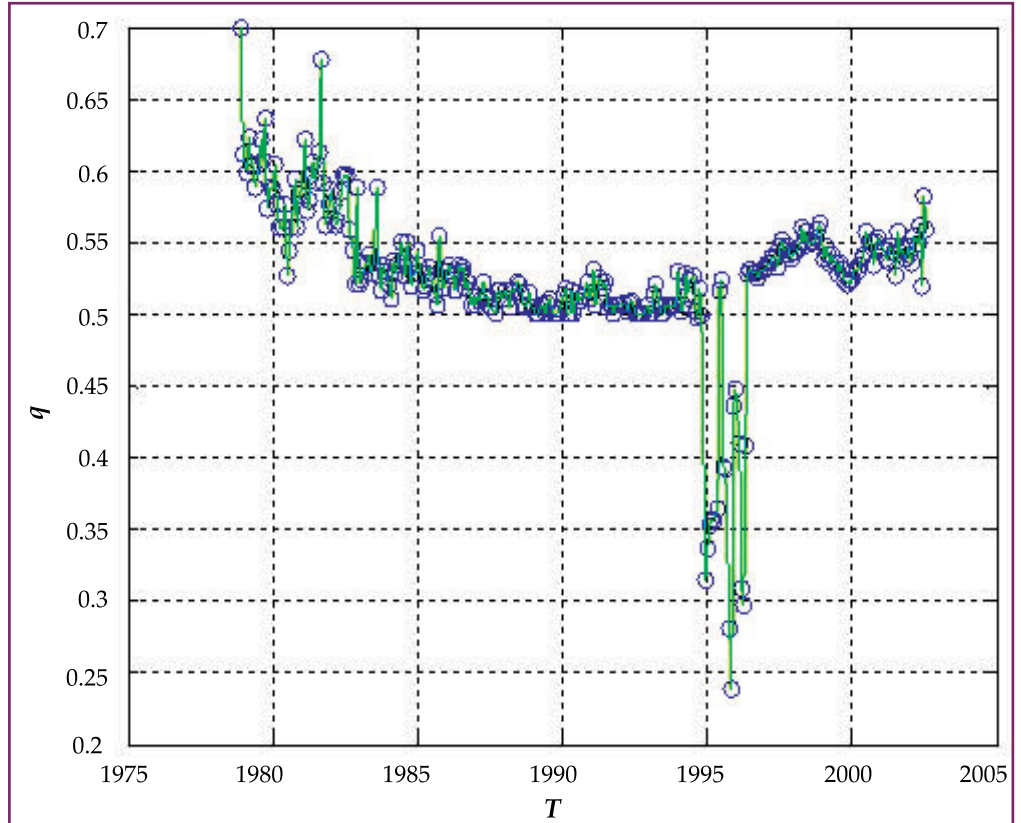


Рис.2. Динамика изменения показателя деформации q

продукции.

По состоянию процесса разработки до 10/1992 выбран временной участок $[0, t_0]$, $t_0 \leq t^*$, на котором значения D_q не выходят из допустимой области для временного ряда каждого из трех вышеуказанных показателей. Поведение этих показателей на отрезке $[0, t_0]$ экстраполировалось на оставшийся временной участок $[t_0, T]$, где $[0, T]$ – полный временной

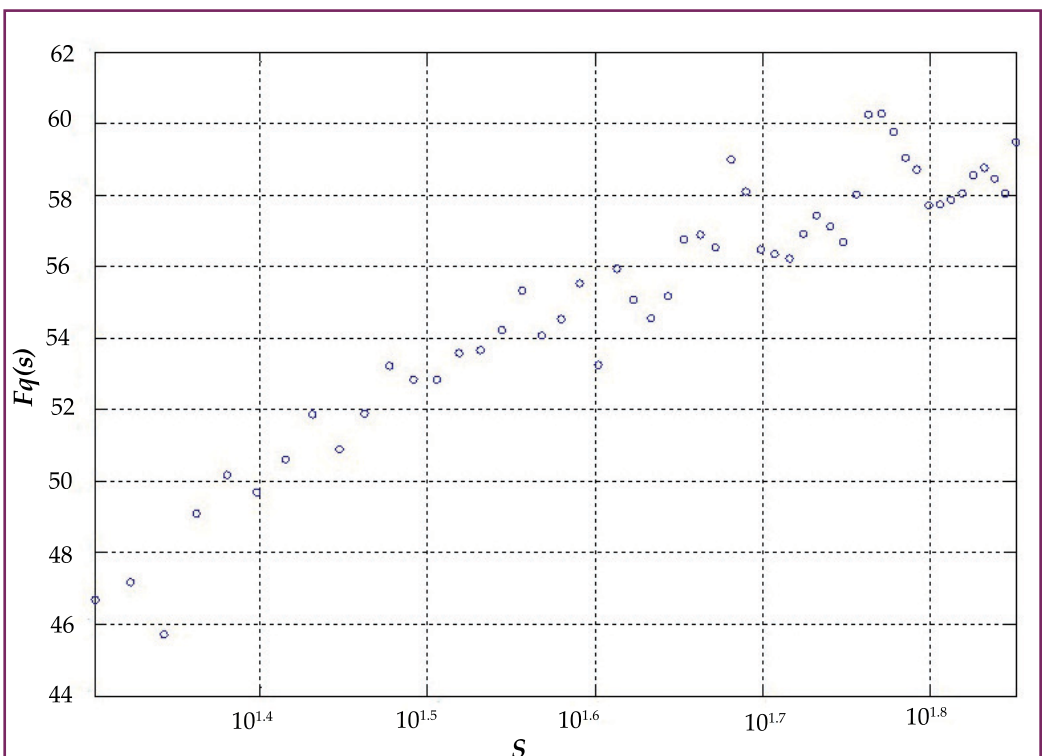


Рис.3. Зависимость дельта-дисперсии временного $F_q(s)$ ряда по нефти от размера сегмента s при $q_1 = 0.6988$

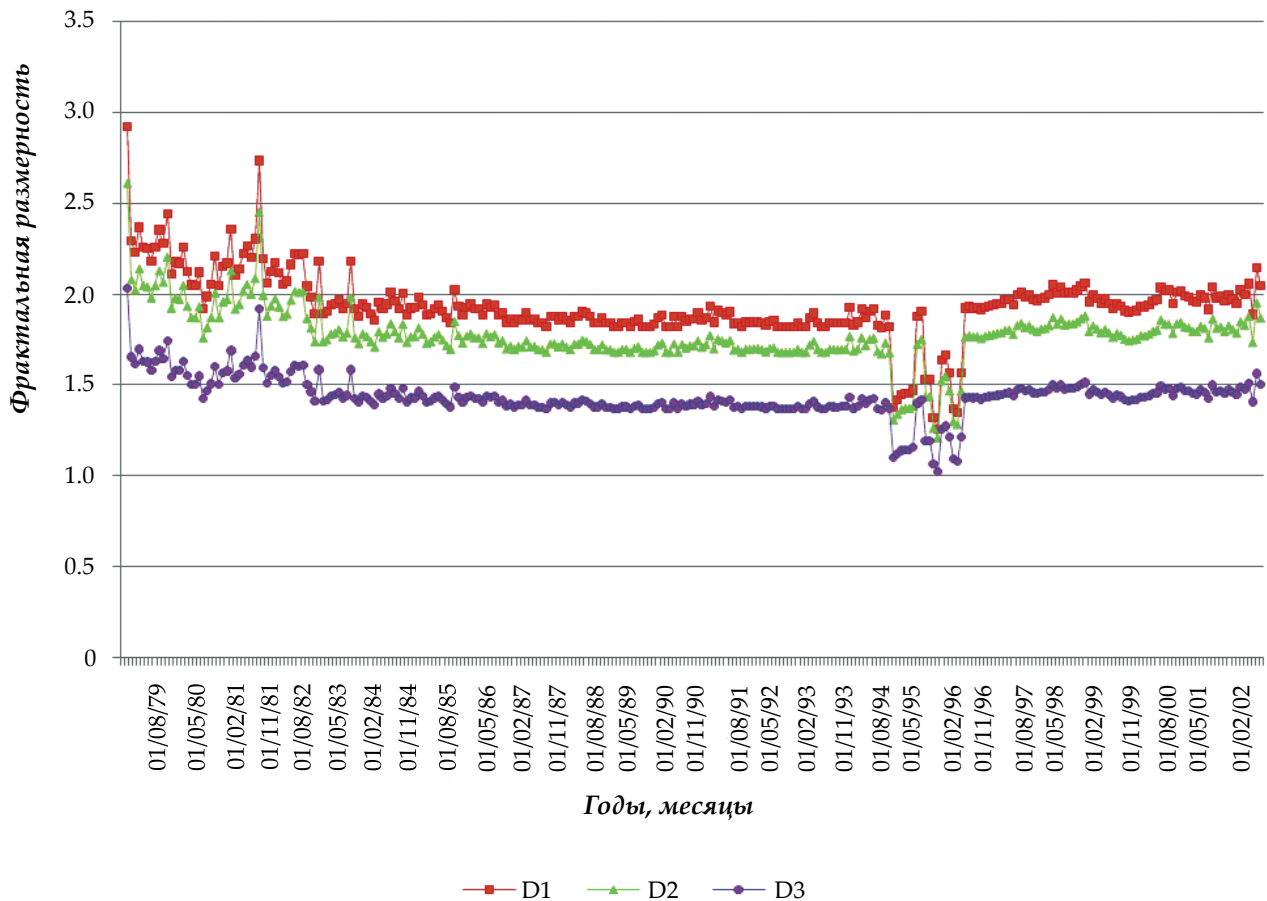


Рис.4. Динамика изменения обобщенной фрактальной размерности D_q для трех временных рядов: добыча нефти - D_1 , добыча воды - D_2 , закачка воды - D_3

отрезок. При расчете было выявлено, что значения величин D_q для каждого из трех экстраполированных временных рядов попадают в область допустимых значений (рис.4).

Таким образом, с помощью МФФА реализуется скользящий контроль и целенаправленная корректировка воздействия на пласт, что позволяет регулировать технологические показатели процесса разработки месторождения в режиме текущего времени.

Выводы

На основе анализа результатов проведенных расчетов по методу мультифрактального флуктуационного анализа (МФФА) можно сделать следующие выводы:

1. Динамический анализ процесса добычи нефти с применением мультифрактального анализа дает более детальную картину переходов от порядка к хаосу и, наоборот, с выявлением промежуточных этапов между этапами взаимодействия и поглощения.

2. МФФА можно использовать в качестве критерия для установления взаимосвязи между изменениями параметра деформации и исследуемого объекта, возникающей в результате процесса самоорганизации в пласте. Таким образом на ранних этапах воздействия на пласт можно проверять эффектив-

ность того или иного метода воздействия на пласт и осуществлять его целенаправленную корректировку.

3. На некоторых участках временного ряда значения обобщенной фрактальной размерности могут выходить за пределы интервала допустимых значений, ограниченных снизу топологической размерностью исследуемого объекта. Это объясняется тем, что на данном этапе хаотические колебания не могут быть описаны скейлинговым соотношением и не приводят к фрактальным множествам.

4. Водное воздействие на залежь должно основываться не только на принципах поддержания пластового давления, но и учитывать процесс самоорганизации системы. Наиболее действенным методом корректировки этого воздействия является динамический анализ процесса выработки запасов нефти из залежи с помощью мультифрактального анализа, выявляющий неоднородность и зоны однородности процесса добычи нефти, являющиеся отражением фрактальной геометрии порового пространства пласта.

Таким образом, мультифрактальный подход к анализу разработки месторождения позволяет оценить эффективность процесса, что представляется особенно полезным в условиях недостаточной или неопределенной геолого-промысловой информации.

Литература

1. Фракталы в физике //Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике (МЦТФ, Триест, Италия, 9-12 июля, 1985). Пер. с англ. /Под ред. Л.Петронеро, Э.Тозатти. -М.: Мир. -1988. -С.672.
Fraktali v fizike //Trudi VI mejdunarodnogo simpoziuma po fraktalam v fizike (MTSTF, Triest, Italiya, 9-12 iyulya, 1985). Per. s angl. /Pod red. L.Petronero, E.Tozatti. M.: Mir. -1988. -S.672
2. Е.Федер. Фракталы. М.: Мир, 1991.
E.Feder. Fractals. M.: Mir, 1991
3. А.М.Иманов. Возможности фрактального подхода при анализе процесса выработки запасов нефти из залежи // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. -2007. -№4. -С.35-38
A.M.Imanov. Vozmozhnosti fraktalnogo podhoda pri analize protsesssa virabotki zapasov nefti iz zalezhi //Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorojdeniy. -2007. -№4. -S.35-38
4. А.В.Мальшаков. Анализ процессов выработки запасов нефти из залежи и определение фрактальной характеристики дренируемых запасов //Нефтяное хозяйство. -2009. -№8. -С.38-41.
A.V. Malshakov. The analysis of process of oil reserves recovery from a deposit and determination of fractal characteristic of the drained reserves //Oil industry. -2009. -№8. -P.38-41
5. J.W.Kantelhardt, S.A.Zshienger, E.Koscienly-Bumde etc. Multifractal detrended fluctuation analysis of non-stationary time series //Physica A. -2002. -V.316. -P.87-114.
6. A.Renyi. Probability Theory. Amsterdam: North-Holland, 1970.
7. А.Н.Павлов, В.С.Анищенко. Мультифрактальный анализ сложных сигналов //Успехи физических наук. -2007. -Т.177. -№8. -С.859-876.
A.N.Pavlov, V.S.Anishchenko. Multifractal analysis of complex signals //Uspekhi Fizicheskikh Nauk. -2007. -Vol.177. -№8. -P.859-876
8. B.B.Mandelbrot. The fractal geometry of natures. San Francisco: Treeman, 1982.
9. А.И.Олемской, С.Н.Данильченко, В.Н.Борисюк, И.А.Шуда. Мультифрактальный анализ рентгеновских дифрактограмм сложных конденсированных сред //Металлофизика и новейшие технологии. -2009. - Т.31. -№6. -С.777-789.
A.I.Olemskoy, S.N.Danilchenko, V.N.Borisyuk, I.A.Shuda. Multifraktalniy analiz rentgenovskih difraktogramm slojnih kondensirovannyh sred //Metallofizika i novey-shiye tehnologii. -2009. - Т.31. -№6. -S.777-789
10. А.Х.Мирзаджанзаде, Ф.Б.Нагиев, А.А.Судейманов. Применение принципов динамического анализа для принятия решений по разработке нефтегазовых месторождений //Азербайджанское нефтяное хозяйство. -2006. -№9. -С.1-12.
A.Kh.Mirzajanzade, F.B.Nagiyev, A.A.Suleimanov. Use of the principles of dynamic analysis when making decisions for development of oil-gas fields //Azerbaijan oil industry. -2006. -№9. -P.1-1211. П.В.Короленко, М.С.Маганова, А.В.Меснянкин. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. М.: НИИЯФ МГУ, 2004.
11. П.В.Короленко, М.С.Маганова, А.В.Меснянкин. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. М.: НИИЯФ МГУ, 2004.
(P.V.Korolenko, M.S.Maganova, A.V.Mesniankine. New methods for the analysis of the stochastic processes and structures in optics. M.: NIYAF MGU, 2004)

Analysis of oil deposit exploration state on the base of multifractal approach

B.A.Suleimanov, F.S.Ismailov, O.A.Dyshin, N.I.Huseinova
("OilGasScientificResearchProject" Institute)

Abstract

A method based on a multifractal approach is suggested in order to diagnose the current state of layer system. This method allows on-line decisions to be made concerning regulation and control of exploration for oil deposits. Undermultifractal fluctuation method field data analysis the dynamic change of generalization fractal dimension for time series of current oil production was investigated. The dynamic analysis evaluates self organization of the development process, aimed at selection of the most efficient stimulation methods and their purposeful correction at different stages of field exploitation.

Neft yatağının işlənməsinin multifraktal təhlili

B.Ə.Süleymanov, F.S.İsmayılov, O.A.Dışhin, N.İ.Hüseynova
("Neftqazemitədqiqatlayihə" İnstitutu)

Xülasə

Məqalədə neft yataqlarının işlənməsi prosesinə nəzarət və idarə qərarlarının qəbul edilməsi məqsədi ilə lay sisteminin cari vəziyyətinin diaqnostikasında multifraktal yanaşma əsasında qurulan üsuldan istifadə olunmasını təklif edilir. Multifraktal fluktuasiya üsulu çərçivəsində, mədən məlumatlarından ibarət olan zaman sıraları üçün ümumiləşdirilmiş fraktal ölçüləri hesablanıb və onların dinamikasının riyazi analizi aparılmışdır. Alınan nəticələrin əsasında yatağın işlənməsinin müxtəlif mərhələlərində məqsədyönlü düzəlişlərin həyata keçməsi üçün ən effektiv təsir üsullarını seçmək mümkün olur.