



**С. Б. Турунтаев**  
**А. В. Новиков**

ИДГ РАН, МОСКВА  
МФТИ, МОСКВА

## **НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМОГРАММ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА, ПОЛУЧЕННЫХ ПО МЕТОДУ АНЧАР**

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются возможности применения подходов нелинейной динамики для анализа микросейсмического фона в рамках технологии АНЧАР. Для оценки наличия в микросейсмическом фоне регулярной составляющей используется метод Грассбергера-Прокаччия реконструкции аттракторов [4]. Дается оценка чувствительности метода к наличию гармонического сигнала с постоянной или затухающей амплитудой в случайном ряде. Рассматриваются примеры применения методов нелинейной динамики для обработки данных, полученных на месторождениях.

**ВВЕДЕНИЕ.** Пожалуй, основным прямым источником информации о деформационных процессах, идущих в объеме горного массива, является его сейсмичность (или микросейсмичность). Сейсмический режим формируется в результате развития неустойчивой нелинейной многопараметрической блочной системы, каковой является геофизическая среда [2, 3]. Процессы, протекающие в такой среде, в общем виде можно описать с помощью интегро-дифференциальных уравнений, содержащих частные производные. При помощи задания каких-либо ограничительных условий (например, требования сохранения каких-либо величин) экспериментального определения взаимосвязей отдельных параметров среды, математических процедур можно свести такие уравнения к системе линейных обыкновенных уравнений. Известно, что исследование решений этих уравнений на устойчивость может приводить к обнаружению аттракторов - устойчивых состояний, отклонение от которых в некоторых пределах вызовет процессы, направленные на восстановление данных состояний.

Достижения последних лет в области нелинейной динамики привели к появлению новых методов анализа сложных систем [1, 4]. Эти методы особенно полезны, когда о поведении системы приходится судить путём анализа одномерных временных рядов (т.е. полученных путём регистрации только одной переменной). В частности, развитые методы позволяют отличить истинно стохастическую систему от детерминированного хаоса, оценить минимальное число переменных, необходимых для описания динамической системы, выявить отличия рассматриваемой системы от систем другого типа.

### **МЕТОД ГРАССБЕРГЕРА-ПРОКАЧЧИА РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ СОСТОЯНИЙ**

В теории динамических систем состояние системы представляется точкой в многомерном пространстве определяющих параметров и их производных по времени - в фазовом пространстве. Эволюция состояния системы соответствует изменению положения фазовой точки, описывающей некоторую траекторию. Известно, что фазовые траектории диссипативных динамических систем всегда находятся в ограниченном объеме фазового пространства и с течением времени стремятся к некоторому его подмножеству, называемому аттрактором динамической системы, которое имеет меньшую размерность по сравнению с размерностью фазового пространства. Структура данного подмножества может быть чрезвычайно сложной, но самоподобной на различных масштабах.

Для описания геометрических свойств таких множеств вводятся понятия фрактальных размерностей (топологическая размерность, хаусдорфова размерность, корреляционная размерность, информационная размерность и др.). С практической точки зрения наибольший интерес представляет корреляционная размерность, поскольку процесс её вычисления значительно проще по сравнению с остальными, и она даёт хорошую характеристику сложности аттрактора динамической системы.

Для оценки корреляционной размерности используется понятие корреляционного интеграла, который определяется следующим образом:

$$C(\varepsilon) = P\{(X, Y) : \|X - Y\| \leq \varepsilon\},$$

где  $X, Y$  - независимые состояния динамической системы. Другими словами, корреляционная размерность  $C(\varepsilon)$  представляет собой вероятность  $P$  обнаружить систему в двух состояниях, расстояние между которыми в фазовом пространстве меньше  $\varepsilon$ .

Если существует константа  $D$ , такая что

$$C(\varepsilon) = \text{const} \cdot \varepsilon^D \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0,$$

то эту константу называют корреляционной размерностью аттрактора системы.

Другими словами, корреляционная размерность есть предел

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log C(\varepsilon)}{\log \varepsilon}$$

при условии, что данный предел существует.

На практике по экспериментальному временному ряду  $\{x_t, x_{t+\Delta t}, \dots, x_{t+i\Delta t}, \dots, x_{t+N\Delta t}\}$  корреляционный интеграл вычисляется следующим образом. Строится набор векторов (так называемые  $z$ -векторы):

$$z_t = \{x_t, x_{t+\tau}, x_{t+2\tau}, \dots, x_{t+(m-1)\tau}\},$$

который зависит от двух параметров: размерности пространства вложения  $m$  (пространство минимальной размерности, полностью вмещающее аттрактор) и временной задержки  $\tau$ . Данные векторы определяют некоторую новую динамическую систему, однако определённые её характеристики (в частности, корреляционная размерность) будут совпадать с соответствующими характеристиками исходной системы. Основанием для этого утверждения является теорема Такенса [5]. Было показано [1], что анализ  $z$ -векторов позволяет оценить как фрактальную размерность аттракторов, так и размерность пространства вложения, вмещающего данный аттрактор, т. е. оценить минимальное количество независимых переменных, необходимых для описания поведения динамической системы, породившей рассматриваемый временной ряд, в устойчивом состоянии.

Остановимся на выборе параметров  $m$  и  $\tau$ . Поскольку не существует строгого критерия выбора размерности вложения  $m$  для реконструкции аттрактора, на практике вычисляют корреляционную размерность для ряда значений  $m$ , определяют значение  $m^*$ , при превышении которого корреляционная размерность перестает зависеть от  $m$ , это значение считают корреляционной размерностью аттрактора исходной системы, а  $m^*$  - размерностью пространства вложения.

В определении корреляционного интеграла требуется, чтобы рассматриваемые состояния системы были независимы, но в экспериментальных временных рядах  $\{x_t, x_{t+\Delta t}, \dots, x_{t+i\Delta t}, \dots, x_{t+N\Delta t}\}$  последовательные измерения могут быть сильно коррелированы друг с другом. В связи с этим параметр  $\tau$  выбирают равным такому вре-

менному сдвигу, при котором автокорреляционная функция ряда  $\{x_t, x_{t+\Delta t}, \dots, x_{t+i\Delta t}, \dots, x_{t+N\Delta t}\}$  первый раз обращается в ноль или имеет локальный минимум.

Корреляционный интеграл даёт количество пар  $z$ -векторов, расстояние между которыми меньше некоторого масштаба  $\varepsilon$ , и вычисляется следующим образом [4]:

$$C(\varepsilon) = \frac{1}{N^2} \sum_{\substack{i, j=1 \\ i \neq j}}^N \theta(\varepsilon - \|z_i - z_j\|),$$

где  $N$  - количество  $z$ -векторов;  $\theta(x)$  - функция Хевисайда;  $\theta(x) = 0$ , если  $x < 0$  и  $\theta(x) = 1$ , если  $x \geq 0$ .

Строится зависимость  $\log C(\varepsilon)$  от  $\log \varepsilon$  и по наклону линейного участка этой зависимости рассчитывается величина корреляционной размерности. Очевидно, что для проведения данной оценки необходимо, чтобы существовал такой диапазон масштабов  $\varepsilon$ , в котором выполнено предположение  $C(\varepsilon) = \text{const} \cdot \varepsilon^D$ . Линейность графиков корреляционного интеграла нарушается на больших масштабах из-за ограниченности используемого временного ряда, на малых масштабах искажения связаны с дискретностью данных.

Расчёт корреляционной размерности включает вычисление расстояний между точками в пространстве  $z$ -векторов, поэтому необходимо выбрать метрику пространства. Если использовать обычное евклидово расстояние

$$\|z_i - z_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^m (z_{ik} - z_{jk})^2},$$

одни и те же характерные участки на графиках  $C(\varepsilon)$  будут соответствовать разным значениям  $\varepsilon$ , поскольку среднее квадратичное расстояние между векторами в данном случае будет пропорционально  $m$ . Такой сдвиг масштабов в некоторых случаях может затруднять использование описанного алгоритма. Этого неудобства можно избежать, если использовать метрику, скорректированную по отношению размерности пространства

$$\|z_i - z_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^m \frac{(z_{ik} - z_{jk})^2}{m}}.$$

Применительно к задачам анализа микросейсмического фона метод реконструкции аттракторов был реализован следующим образом. Записи микросейсмического фона рассматривались как временной ряд, характеризующий геофизическую систему, вмещающую месторождение углеводородов. При конструировании  $z$ -векторов элементы рассматриваемого временного ряда сдвигались по времени на величину временной задержки  $\tau = n\Delta t$ , где  $\Delta t$  - период дискретизации записи микросейсмического фона,  $n$  - целое число (значение  $n$  в расчётах варьировалось от 1 до 30 в зависимости от длины набора данных).

## ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА К ОТНОШЕНИЮ СИГНАЛ/ШУМ

Для оценки чувствительности используемого метода к отношению сигнал/шум была сгенерирована случайная последовательность (“белый” шум), и к ней добавлялась “информативная” компонента (гармонический сигнал с постоянной амплитудой или экспоненциально затухающий гармонический сигнал). Вычисления были проведены для различных соотношений между амплитудами шума и информативного сигнала. Случайная последовательность содержала 2000 отсчётов, что соответствует длинам участков экспериментальных записей, анализируемых далее. Частота гармонического сигнала подбиралась из тех соображений, чтобы в 2000 отсчётов укладывалось 60 периодов, что соответствует 3 Гц для реальных записей микросейсмического фона.

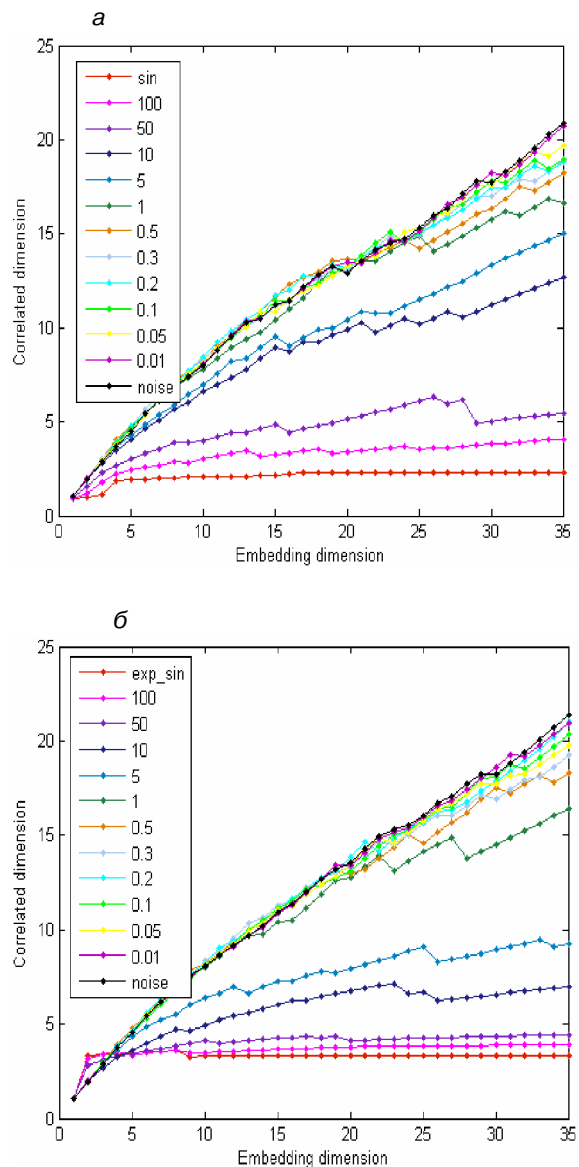
Естественно предположить, что метод позволяет определить наличие информативной составляющей в зашумленной записи в том случае, если кривая зависимости корреляционной размерности от размерности вложения для записи с информативным сигналом проходит ниже аналогичной кривой для чистого шума.

На рис. 1, а приведены зависимости корреляционной размерности от размерности вложения для гармонического сигнала, наложенного на случайные колебания при отношении сигнал/шум, менявшемся в пределах 0,01 - 100, а также для случайного ряда и синусоидальных колебаний. Видно, что кривые, содержащие “информативную” составляющую, начинают отличаться от кривой для чистого шума, когда амплитуда сигнала составляет 0,1 - 0,2 от амплитуды шума. При отношении сигнал/шум 0,5 и более расхождение становится значительным. Для “информативной” составляющей в виде экспоненциально затухающего гармонического сигнала результаты обработки при различных соотношениях сигнал/шум приведены на рис. 1, б. На длине записи амплитуда информативного сигнала затухает в  $e$  раз. Из представленных графиков видно, что метод позволяет отличить чистый шум от шума с добавленной информативной компонентой в случае, если амплитуда сигнала составляет 0,2 - 0,3 и более от амплитуды шума.

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Были рассмотрены два набора данных<sup>1</sup>. Первый набор представляет собой записи микросейсмического фона, полученные на двух непересекающихся площадках, одна из которых расположена в пределах контуров газового месторождения, другая - вне контуров. Измерения микросейсмических колебаний выполнялись в четырёх пунктах на каждой из площадок одновременно, данные оцифровывались с частотой 89,27 Гц. Измерения проводились в пределах нескольких сессий, далее номера сес-

<sup>1</sup> Первичный полевой материал предоставлен компанией НТК АНЧАР.



**Рис. 1.** Зависимость корреляционной размерности от размерности вложения для различных отношений сигнал/шум:

а - полезный сигнал в виде гармонических колебаний постоянной амплитуды; б - полезный сигнал в виде экспоненциально затухающих гармонических колебаний

сий, начинающиеся с буквы “Г” относятся к измерениям в пределах контуров месторождения, с буквы “О” - вне контуров. На представленных записях обнаружены кратковременные возрастания амплитуды микросейсмического фона, природа которых окончательно не установлена. Был отдельно проведён анализ участков записей, свободных от таких “всплесков”, и участков, содержащих “всплески”.

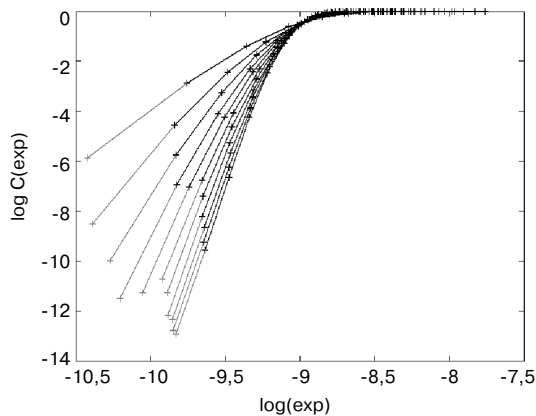
Второй набор данных содержит записи микросейсмического фона, сделанные до, во время и после работы вибратора в нескольких точках в пределах залежи сложной формы с неустановленными границами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

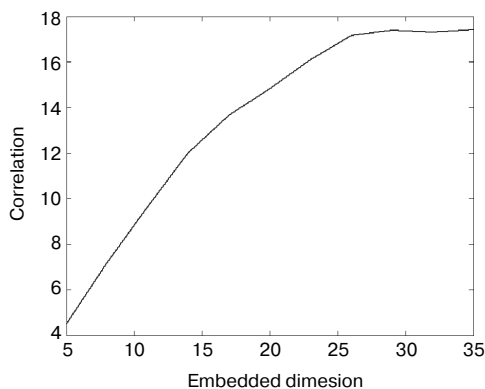
**Обработка участков сейсмограмм, свободных от всплесков микросейсмического фона.** Для трёх сессий регистрации в пределах контура и для трёх сессий регистрации вне контура резервуара выбирались участки сейсмограмм длительностью 170 с, свободные от всплесков микросейсмического фона для всех четырёх пунктов регистрации *A*, *B*, *C* и *D*; рассматривались *Z*-компоненты этих сейсмограмм. Для выбранных участков проводилось удаление постоянной составляющей. Запись микросейсмических колебаний анализировалась методом Грассбергера-Прокаччия при следующих параметрах: размерности вложения - от 5 до 35; временная задержка - 20.

Для записей по точкам *A*, *B*, *C* сессии I103 при размерности вложения 23-25 и временной задержке 20 обнаружен выход на аттрактор размерности порядка 17-18. Для записи в точке *D* сессии I103 выход на аттрактор при данных параметрах не обнаружен (данные выглядят как случайная последовательность). Примеры графиков корреляционного интеграла и зависимости корреляционной размерности от размерности вложения представлены на рис. 2 и 3.

Для сессий O103 и O107 наблюдается выход на аттрактор размерности 10-14 в зависимости от точки на-



**Рис. 2.** Графики корреляционного интеграла: временная задержка 20, точка *A*, сессия I103

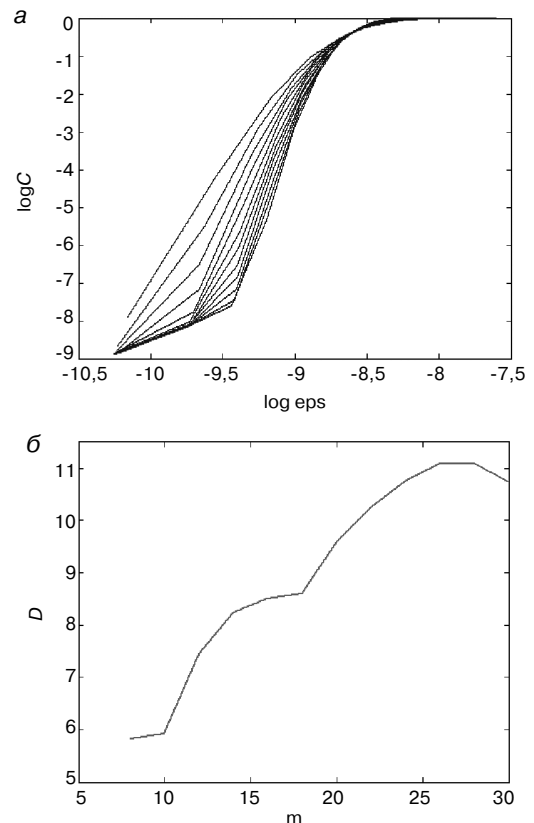


**Рис. 3.** Зависимость корреляционной размерности от размерности вложения: временная задержка 20, точка *A*, сессия I103

блюдения. Выход наблюдается при размерности вложения 14-18 (временная задержка 20). Для сессии I107 для точки *A* обнаружен выход на аттрактор размерности 14 при размерности вложения 20. Для точек *B* и *C* обнаружен выход на аттрактор размерности 10-11 при размерности вложения 14-15. Для записи в точке *D* сессии I107 выход на аттрактор при данных параметрах не обнаружен; данные выглядят как случайная последовательность.

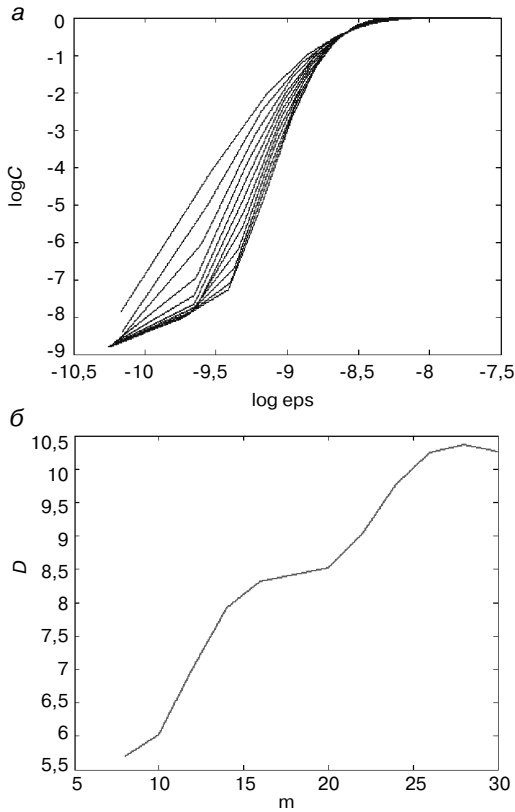
При наличии не очень явных отличий результатов, полученных при проведении сессий измерений в пределах контура месторождения и вне контура, была выполнена дополнительная предварительная обработка записей. Осуществлялось сложение соответствующих сигналов по точкам *A*, *B* и *C* с целью усиления предполагаемой когерентной составляющей внутри контура месторождения на фоне общего микросейсмического фона, после чего применялось сглаживание скользящим средним с целью уменьшения влияния высокочастотных помех. Далее запись обрабатывалась методом Грассбергера-Прокаччия при временной задержке 15. Полученные в результате обработки графики корреляционного интеграла и зависимости корреляционной размерности от размерности вложения для всех сессий представлены на рис. 4 и 5.

В табл. 1 приведены значения корреляционных размерностей *D* и размерностей вложения *m*, при которых наступает стабилизация *D*. Значительных различий для



**Рис. 4.** Сессия I103:

*a* - зависимость значений корреляционного интеграла от параметра близости при размерностях вложения от 8 до 30 с шагом 2; *б* - зависимость корреляционной размерности от размерности вложения



**Рис. 5.** Сессия O103:  
 а - зависимость значений корреляционного интеграла от параметра близости при размерностях вложения от 8 до 30 с шагом 2; б - зависимость корреляционной размерности от размерности вложения

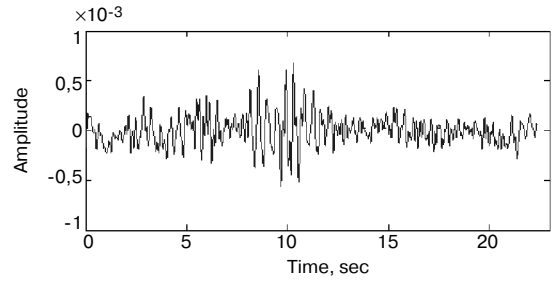
сейсмограмм, полученных внутри и вне контура месторождения, не обнаружено. Отметим, что, строго говоря, полученные столь высокие значения размерностей не могут рассматриваться как реконструкция аттракторов, а скорее, как оценка размерностей аттрактора и вложения снизу.

**Обработка участков сейсмограмм, содержащих импульсное возрастание амплитуды микросейсмического фона.** Были рассмотрены участки Z-компонент сейсмограмм, содержащие импульсное возрастание амплитуды микросейсмического фона. Обрабатываемые участки представлены на рис. 6 и 7. Записи сглаживались скользящим средним, временная задержка равна 15.

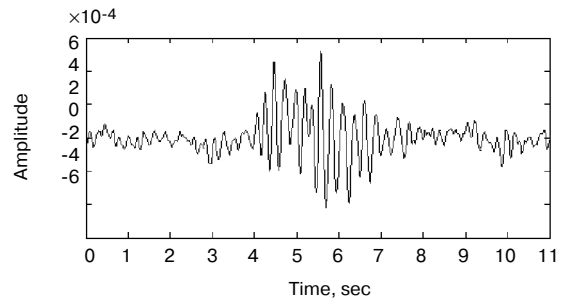
На рис. 8 и 9 представлены семейства графиков корреляционного интеграла для двух приведённых фрагментов при размерностях вложения  $m$  от 8 до 50 с шагом 2. Для записей внутри и вне контура месторождения по-

**1. Корреляционные размерности аттракторов  $D$  и размерности вложения  $m$ , при которых наступает стабилизация  $D$**

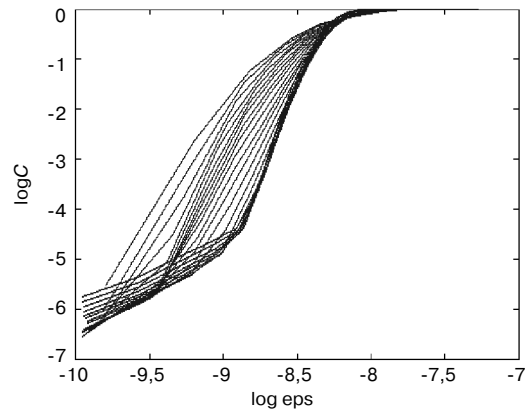
	I103	I107	I109	O103	O107	O201
$D$	11,1	11,4	11,0	10,3	9,6	10,8
$m$	26	28	28	26	22	26



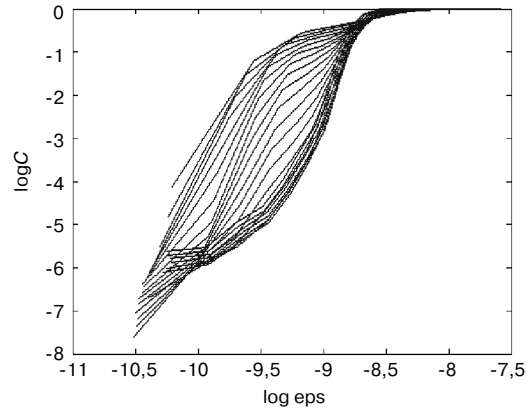
**Рис. 6.** Фрагмент сейсмограммы I103, Z-компонента



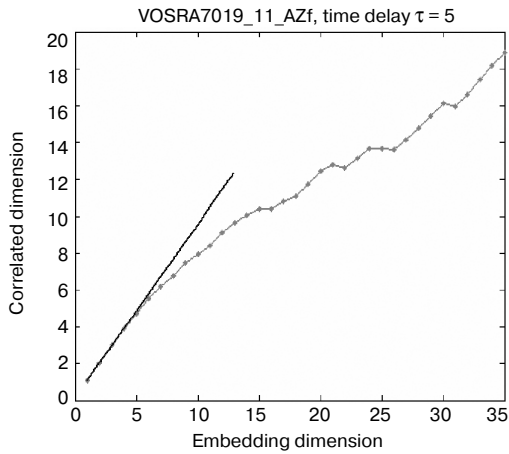
**Рис. 7.** Фрагмент сейсмограммы, O107, Z-компонента



**Рис. 8.** Графики корреляционного интеграла, I103, Z-компонента, размерность вложения  $m$  - от 8 до 50 с шагом 2



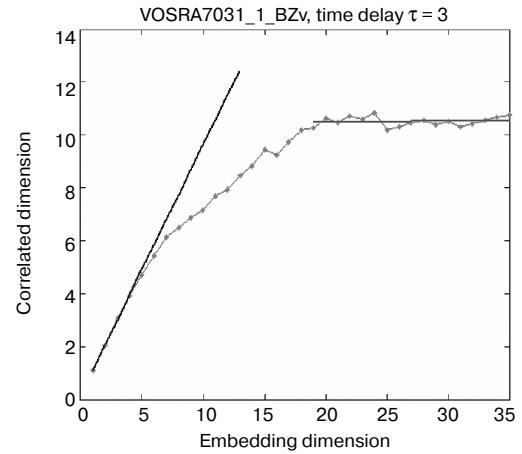
**Рис. 9.** Графики корреляционного интеграла, O107, Z-компонента, размерность вложения  $m$  - от 8 до 50 с шагом 2



**Рис. 10.** Зависимость корреляционной размерности от размерности вложения для записи невозмущённого микросейсмического фона

лученные картины, как следует из рисунков, отличаются довольно сильно. Так, для сессии I103 на графиках присутствуют чётко выраженные линейные участки, которым соответствует корреляционная размерность примерно 7,6. Для сессии O107 линейные участки на графиках корреляционного интеграла отсутствуют.

*Сопоставление результатов использования нелинейного подхода в случаях индуцированного и спонтанного АН-ЧАР.* Для каждой записи микросейсмического фона при



**Рис. 11.** Зависимость корреляционной размерности от размерности вложения для записи, сделанной между двумя включениями вибратора

экспериментах с использованием вибратора в пределах сложнопостроенного месторождения выбирался участок, записанный в интервал времени между двумя последовательными периодами работы вибратора. Для каждой записи невозмущённого микросейсмического фона выбирался однородный участок длительностью, примерно равной длительности участков, которые выбирались для записей с вибратором. В качестве временной задержки выбиралось значение, при котором автокорреляци-

## 2. Результаты анализа зависимости корреляционной размерности от размерности вложения при использовании вибратора

Точка	Вибратор						Фон						Результат сравнения положения кривых
	$\tau$	$d^*$	$m^*$	$d^{**}$	$m^{**}$	Наличие аттрактора	$\tau$	$d^*$	$m^*$	$d^{**}$	$m^{**}$	Наличие аттрактора	
4018a	4	5,5	6	12,5	25	+	4	5,7	6	16	29	+?	+
4018b	4	6,1	7	13	25	+	5	5,6	6	-	-	-	-(?)
4019a	5	5,5	6	15	25	+	5	5,5	6	14,5	27	+?	-
4019b	5	4,7	5	12,5	23	+?	6	4,7	5	-	-	-	-(?)
4020a	4	6,4	7	-	-	-	5	6,4	7	-	-	-	?
4020b	4	5,8	6	-	-	-	4	5,5	6	-	-	-?	-
4023a	6	4,6	5	-	-	-?	12	6,4	7	-	-	-	+
4023b	5	5,7	6	12,5	24	?	5	6,5	7	-	-	-	+
7005a	5	4,8	5	-	-	-	5	4,7	5	-	-	-	-
7005b	5	4,5	5	-	-	-	5	4,8	5	12	26	+	-
7019a	3	4,5	5	11	24	+?	5	5,5	6	-	-	-	+
7019b	5	4,6	5	12,3	25	+	5	4,8	5	-	-	-?	?
7031a	3	4,7	5	11	24	++	5	6,4	7	-	-	-	+
7031b	3	4,7	5	10,5	19	++	4	6,1	7	-	-	-	+
7043a	4	5,7	6	16,5	28	+?	5	4,8	5	-	-	-	-
7043b	5	4,8	5	-	-	-	5	5,5	6	-	-	-	+
7044a	5	3,9	4	12,5	24	+	5	6,3	7	-	-	-	+
7044b	5	4,6	5	15	25	+?	5	5,2	6	13	28	+?	+
7047a	4	4,8	5	-	-	-	4	3,9	4	-	-	-	-
7047b	3	6,5	7	-	-	-	6	5,5	6	-	-	-?	-
7061a	4	5,6	6	16	30	+?	4	5,5	6	17	27	+?	+
7061b	3	4,7	5	-	-	-	5	4,8	5	-	-	-	-

*Примечание.* Значения  $d^*$  и  $m^*$  соответствуют отклонению от линейной зависимости,  $d^{**}$  и  $m^{**}$  соответствуют выходу на плато. Оценка наличия или отсутствия аттрактора показана знаками (+) или (-). Затенённые ячейки соответствуют более упорядоченному состоянию микросейсмического фона.

онная функция сигнала первый раз обращалась в нуль. На рис. 10 и 11 показаны примеры полученных зависимостей корреляционных размерностей от размерностей вложения. Характерной особенностью этих графиков является отклонение полученных зависимостей от линейных, начиная с некоторых значений  $m$ . Обозначим соответствующие координаты начала отклонения символами  $d^*$  и  $m^*$ . Для некоторых записей (см. рис. 11) наблюдается стабилизация (выход на плато) корреляционной размерности с ростом размерности вложения, по этим точкам определялись корреляционная размерность  $d^{**}$  и соответствующая размерность вложения  $m^{**}$ .

Табл. 2 содержит значения временных задержек  $d^*$  и  $m^*$  (отклонение от линейной зависимости),  $d^{**}$  и  $m^{**}$  (выход зависимости на плато). Исходя из последних величин, даётся оценка наличия (+) или отсутствия (-) аттрактора. Отметим, что только для значений  $d^{**}$  и  $m^{**}$  выполняется условие теоремы Такенса, которое, впрочем, является достаточным, но не необходимым для применимости используемого алгоритма.

Если после воздействия вибратора в общем микросейсмическом фоне появляется некоторая детерминированная составляющая, это должно приводить к снижению корреляционной размерности, рассчитанной для записей микросейсмического сигнала после воздействия вибратора по сравнению с записями невозмущённого фона до воздействия вибратора в той же точке. В последнем столбце табл. 2 приведены результаты анализа изменения положения кривой зависимости корреляционной размерности от размерности вложения после включения вибратора. Если после работы вибратора кривая опускается ниже кривой фона, это является основанием полагать, что воздействие вибратора возбуждает дополнительную детерминированную составляющую. Такой результат обозначим “положительным”, в противном случае (положение кривой не изменилось) результат нулевой.

Следует отметить, что даже в случае обнаружения на кривых  $d(m)$  выхода на плато большие значения соответствующих величин  $d^{**}$  и  $m^{**}$  не позволяют утверждать, что эти величины определяют существование аттрактора размерности 11-16 в пространстве с размерностью 23 - 30 ввиду недостаточной длины ряда наблюдений. Вместе с тем анализ устойчивости получаемых результатов по отношению к длине используемой выборки показал, что результаты становятся стабильным при длине временного ряда более 800 отсчетов. Так что о выявлении различий в анализируемых записях утверждать можно.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** В статье [6] было продемонстрировано, что применение подходов нелинейной динамики к анализу изменений микросейсмического фона после воздействия вибратора позволяет отличить фон, запи-

санный в пределах контура месторождения газа, от фона, записанного вне контура, причём оказывается более чувствительным, чем анализ спектров мощности записи микросейсмических колебаний.

Результаты исследования, приведённые в настоящей статье, показывают, что применение предложенных методов должно выполняться с большой аккуратностью. Так, оказалось, что при спонтанном АНЧАРе анализ участков записей, не содержащих импульсных повышений амплитуды микросейсмических колебаний, не позволил уверенно разделить записи, сделанные в пределах контуров месторождения, от записей, сделанных вне контуров. Суммирование записей, одновременно полученных в четырёх точках регистрации и сглаживание данных скользящим средним (обе процедуры уменьшают случайную составляющую данных) не привели к улучшению результатов. Вместе с тем анализ участков записей, содержащих импульсные возрастания амплитуд микросейсмического фона, позволил выявить более высокую “детерминированность” микросейсмического фона, регистрируемого в пределах контуров месторождения по сравнению с микросейсмическим фоном вне контуров.

Анализ данных, полученных при индуцированном АНЧАРе (с использованием вибраторов) на месторождении со сложным строением залежи, показал появление детерминированной составляющей в микросейсмическом фоне после воздействий вибратора в ряде рассматриваемых точек. Эти точки, таким образом, можно рассматривать как более перспективные для проведения бурения.

В целом по итогам настоящего исследования представляется, что индуцированный АНЧАР является более эффективным методом получения информации об особенностях микросейсмического фона в пределах контура месторождения углеводородов, чем спонтанный.

*Авторы благодарят сотрудников компании НТК АНЧАР за полезные обсуждения и замечания.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., 2002, Современные проблемы нелинейной динамики: М., Эдиториал УРСС.
2. Родионов В. Н., Сизов И. А., Цветков В. М., 1986, Основы геомеханики: М., Недра.
3. Садовский М. А., Писаренко В. Ф., 1991, Сейсмический процесс в блоковой среде: М., Наука.
4. Grassberger P., Procaccia I., 1983, Measuring the strangeness of strange attractors: Physica: North-Holland Publishing Company, V. 9D, 189 - 208.
5. Takens F., 1981, Detecting strange attractors in turbulence: Lect. Notes in Math. Berlin: Springer, V. 898.
6. Turuntaev S. B., Burchik V. N., Turuntaev D. S., 2006, Microseismic background study for gas field exploration: SEG 2006 Conference Expanded Abstracts. New Orleans. SEG Publications.

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Сергей Борисович ТУРУНТАЕВ* - заместитель директора Института динамики геосфер РАН, доктор физ.-мат. наук.

*Алексей Викторович НОВИКОВ* - аспирант Московского физико-технического института.