

УДК 550.34

## ПРОЯВЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОСТИ В СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА

© 2012 З. А. Адиллов, к.ф.-м.н., О. А. Асманов

Дагестанский филиал ФГБУН ГС РАН, Россия, 367008,  
Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Белинского, 16,  
e-mail: adilov79@mail.ru

Рассматривается изменение сейсмического режима во времени для Дагестана и прилегающих территорий с выделением квазирегулярных временных гармоник различной продолжительности. Обсуждаются фрактальность сейсмического процесса и изменения уравнения повторяемости землетрясений в зависимости от времени, глубины и района наблюдения. Выявлена зависимость между коэффициентами уравнения повторяемости для исследуемой территории.

**Ключевые слова:** сейсмичность, фракталы, повторяемость, сейсмический режим.

Вопрос взаимозависимости мер (в частном случае геометрий) систем и их поведений на разных масштабных уровнях является широко обсуждаемым. Для сейсмического процесса характерна форма самоподобия, которая выражается в виде степенной зависимости некоторой функции  $f(x)$  от параметра  $x$ :  $f(x) = const/x^\gamma$ , имеющей вид линейной зависимости в билогарифмическом масштабе. Известными примерами являются зависимости между числом повторяемости  $N^*$  и энергией  $E$  землетрясений (1), между размерами очага  $L$  и энергией  $E$  землетрясений (2) и другие [Методы ..., 1960]:

$$\lg N^* = \alpha - \gamma \lg E, (1)$$

$$\lg L = \beta \lg E - \kappa, (2)$$

где  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$  – постоянные коэффициенты.

Параметры  $\alpha$  и  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\kappa$ , фигурирующие в уравнениях (1) и (2) не являются постоянными, а меняются в ходе сейсмического процесса. Поэтому сейсмический процесс – процесс мультифрактальный.

Будучи по своей сущности статистическими характеристиками, эти параметры требуют использование достаточно большого числа сейсмологических данных. При выполнении настоящей работы были использованы землетрясения Дагестана и прилегающих территорий площадью  $102758 \text{ км}^2$  за 109 летний период наблюдений (1902-2010 гг.). Рассматривались землетрясения 8-16 энергетических классов (К). Исходные данные для рассматриваемой территории сведены в таблицу 1.

Здесь  $N_{cp}$  – среднегодовое значение количества землетрясений для всего района наблюдений,  $N^*$  – плотность повторяемости землетрясений, представляющая количество землетрясений в расчете на  $1000 \text{ км}^2$  и периоду времени в 1 год,  $\delta_N$  – относительное среднеквадратическое отклонение наблюдаемых годовых величин  $N$  от арифметической средней  $N_{cp}$ ,  $\delta_{N_{cp}}$  – относительная погрешность определения среднегодового значения величины  $N_{cp}$ ,  $R$  – мера рассеяния повторяемости землетрясений.

Таблица 1.

К	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N	4614	2840	1233	414	185	52	17	4	1
$N_{cp}$	96,13	59,17	11,21	3,76	1,68	0,47	0,155	0,036	0,0091
$N^*$	0,935	0,576	0,109	0,037	0,0163	0,0046	0,0015	0,00035	0,000089
$\delta_N$	0,59	0,67	1,54	1,68	1,34	1,84	2,34	5,22	10,47
$\delta_{Ncp}$	0,08	0,095	0,15	0,16	0,12	0,17	0,22	0,49	0,999
R	5,76	5,15	5,15	3,2	1,7	1,2	0,92	0,99	0,999
$T_K$	3 дн	6 дн	1,1 мес	3,2 мес	7,2 мес	2,1 г	6,4 г	27 лет	109,4 г
$T_\Gamma$	-	-	-	-	-	1,9 г	6,5 лет	23,1 г	35 лет

В предпоследней строчке таблицы приведен средний период повторяемости  $T_K = 1/N_K^*$ , т. е. средний интервал времени между двумя последовательными землетрясениями данного энергетического класса.

По этим табличным данным были построены кумулятивные графики накопления сейсмических событий с магнитудами  $5,0 \pm 0,2$ ,  $5,5 \pm 0,2$ ,  $6,0 \pm 0,2$ ,  $6,5 \pm 0,2$ , и обобщенный кумулятивный график накопления для всех рассмотренных магнитуд (рис.1). Здесь по оси ординат отложено время в годах, а по оси абсцисс – порядковые номера землетрясений в каждой из хронологических последовательностей. Для рассматриваемой территории по инструментальным данным нами была получена формула выражающая класс землетрясения через магнитуду [Адилев и др., 2010] в виде:  $K = 1,55M + 4,17$ , но эта формула была не апробирована, поэтому здесь магнитуда рассчитывалась по формуле Раутиан:  $K = 1,8M + 4,0$ . Кумулятивные гра-

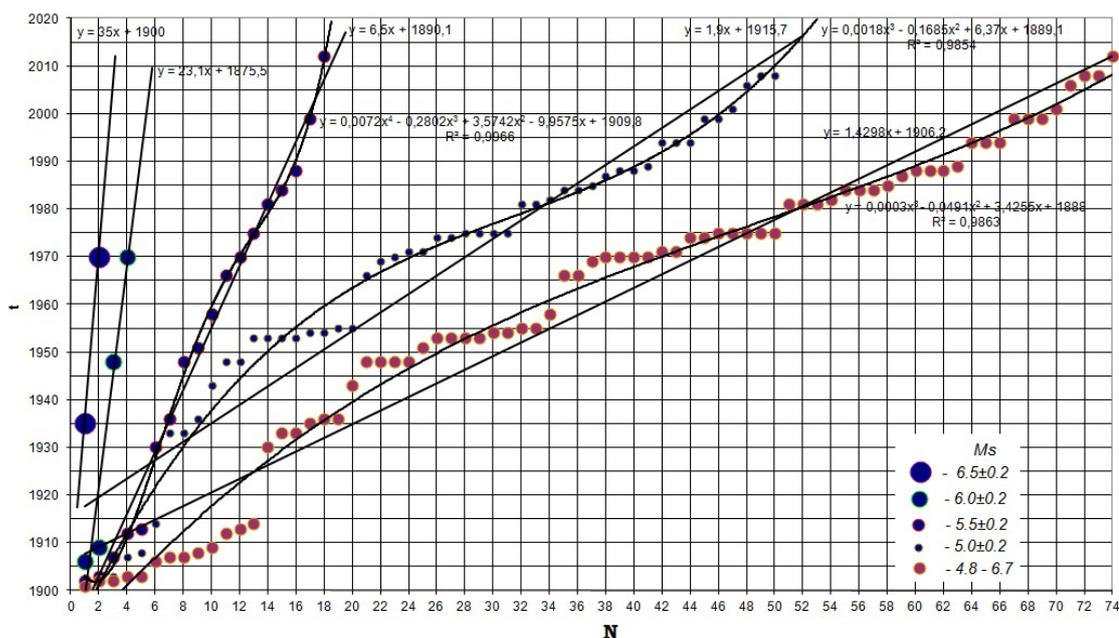


Рис. 1. Кумулятивные графики накопления сейсмических событий с магнитудами  $5,0 \pm 0,2$ ,  $5,5 \pm 0,2$ ,  $6,0 \pm 0,2$ ,  $6,5 \pm 0,2$  и  $4,8 - 6,7$  (обобщенный).

фики накопления аппроксимировались линейными функциями и полиномами 3-ей степени. Углы наклона прямых линий определяют величину среднего периода повторяемости землетрясений данных магнитуд. Соответствующие им средние значения периодов повторяемостей приведены в последней строке вышеприведенной таблицы. Видно удовлетворительное согласие средних периодов повторяемостей для 13-15 энергетических классов, полученных по табличным  $T_K$  данным и по кумулятивным графикам  $T_T$ . Но значительно отличаются эти величины для 16 класса, что можно объяснить отсутствием достаточной статистики.

Временной ход сейсмичности за период 1962-2010 гг. приведен на рис.2. Бросается в глаза квазипериодичность вариации сейсмичности. Выделяются квазирегулярные гармоники годовой, трехлетней, одиннадцатилетней, тридцатилетней продолжительности. Выделяемым гармоникам можно поставить в соответствие известные периодичности, имеющие космическую, геофизическую, социальную природу.

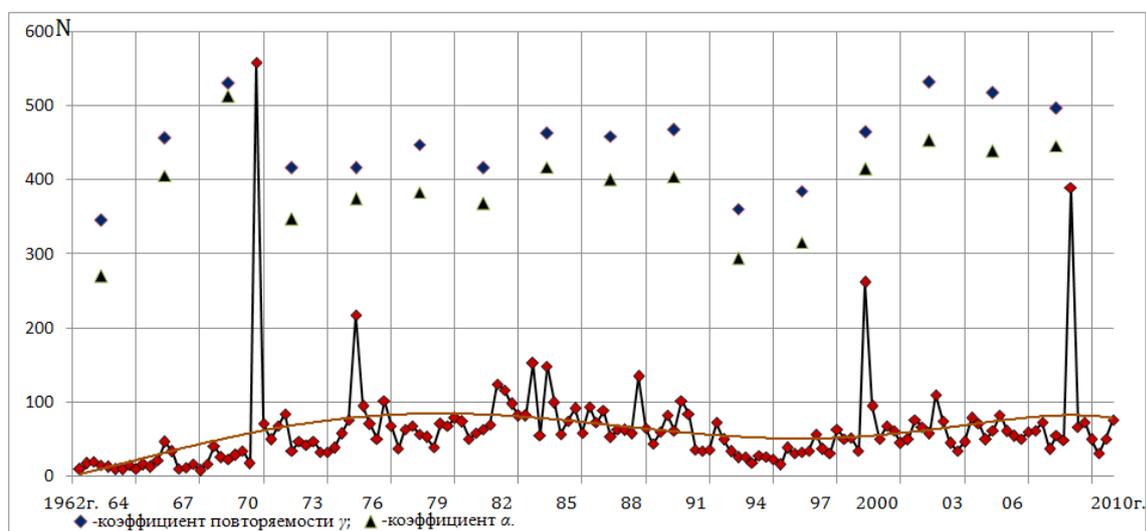


Рис. 2. Временной ряд чисел землетрясений с  $K \geq 8$

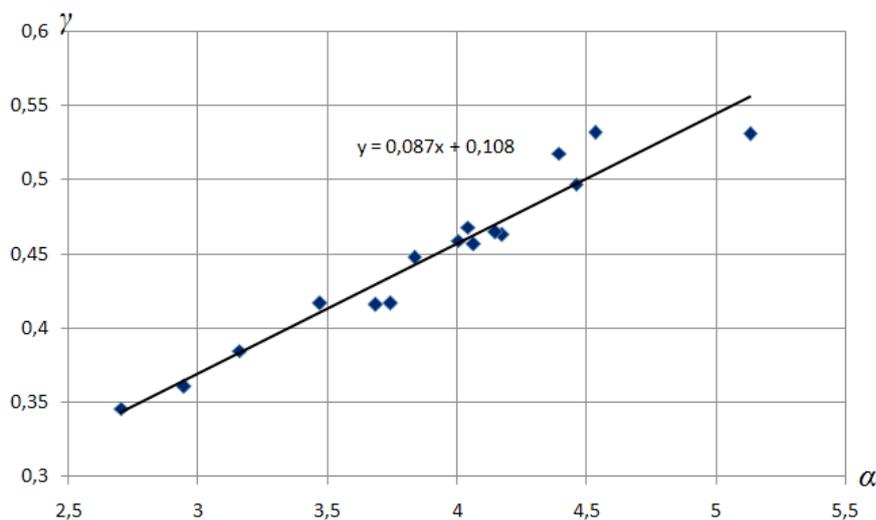
Так линия тренда выявляет длительную 30-летнюю квазипериодичность вариации сейсмичности, где 62-64 гг., 93-95 гг. соответствуют минимумам 30-летнего периода общей сейсмической активности. Его конец (93-95 гг.) совпал с концом известного 11-летнего периода (1982-1993 гг.) глобального изменения сейсмического режима в планетарном масштабе, заключавшегося в уменьшении в три и более раз частоты возникновения крупных землетрясений с последовавшей интенсивной активизацией планетарной сейсмичности после этого относительного сейсмического затишья [Уломов, 2008]. Если судить по графику, то переживаемый нами период (2012 г.) соответствует относительному максимуму сейсмической активности Дагестана, а к 2023 г. опять можно ожидать относительное затишье сейсмичности.

На фоне достаточно сильной вариации сейсмичности закономерность повторяемости землетрясений сохраняется как в области сильной, так и в области слабой сейсмичности. Анализ повторяемости землетрясений проводился с разных позиций.

Анализ изменения коэффициентов уравнения (1) во времени привел к выявлению наличия функциональной зависимости  $\gamma$  ( $\alpha$ ) =  $0,087\alpha + 0,108$  (рис. 3). В таблице 2 приведены изменения обоих коэффициентов уравнения повторяемости и отношения  $\alpha/\gamma$  во времени. Отношение  $\alpha/\gamma$  имеет смысл энергетического класса землетрясений, для которых нормированное число  $N^*$  равно единице. Для наглядности сопоставления временного хода сейсмичности и изменения коэффициентов во времени все эти величины были сведены в единый график без соблюдения масштабности (рис. 2). Как видно из графика, перед Дагестанским землетрясением 14 мая 1970 г. произошел резкий скачок обоих коэффициентов. После этого произошел некоторый спад коэффициентов до значений  $\gamma=0,42$ ,  $\alpha=3,47$  и держался примерно на этом уровне при Салатавском, Бежтинском, Буйнакском землетрясениях с магнитудами выше  $M=5$ . Наблюдается резкое возрастание обоих коэффициентов и перед землетрясением 31 января 1999 г. с магнитудой  $M=5,6$  после резкого же их падения в период относительного сейсмического затишья 92-94 гг.

Таблица 2.

гг.	$\gamma$	$A$	$\alpha/\gamma$
1962-64	0,35	2,70	7,81
1965-67	0,46	4,06	8,89
1968-70	0,53	5,13	9,67
1971-73	0,42	3,47	8,33
1974-76	0,42	3,74	8,98
1977-79	0,45	3,84	8,56
1980-82	0,42	3,68	8,86
1983-85	0,46	4,18	9,02
1986-88	0,46	4,01	8,73
1989-91	0,47	4,04	8,64
1992-94	0,36	2,94	8,16
1995-97	0,39	3,16	8,21
1998-2000	0,47	4,15	8,92
2001-03	0,53	4,53	8,52
2004-06	0,52	4,40	8,48
2007-09	0,50	4,46	8,97

Рис. 3. График зависимости между коэффициентами  $\gamma$  и  $\alpha$ .

Рассматривалось изменение повторяемости землетрясений с глубиной для пяти интервалов глубин: 0-10 км, 11-20 км, 21-30 км, 31-40 км, 41-55 км (рис.4). Незначительно отличаются уравнения для интервалов глубин 0-10 км и 21-30 км, коэффициенты повторяемости для этих интервалов глубин совпадают. А разность коэффициентов  $\alpha$  показывает, что нормированная повторяемость землетрясений  $N^*$  в интервале глубин 0-10 км приблизительно в два раза выше чем в интервале глубин 21-30 км.

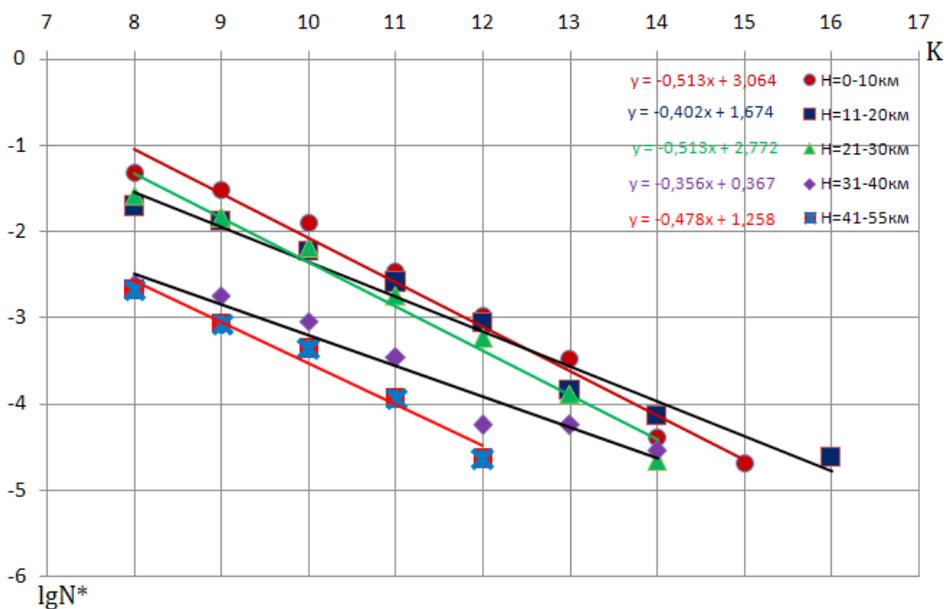


Рис. 4. Графики изменения повторяемости землетрясений в интервалах глубин.

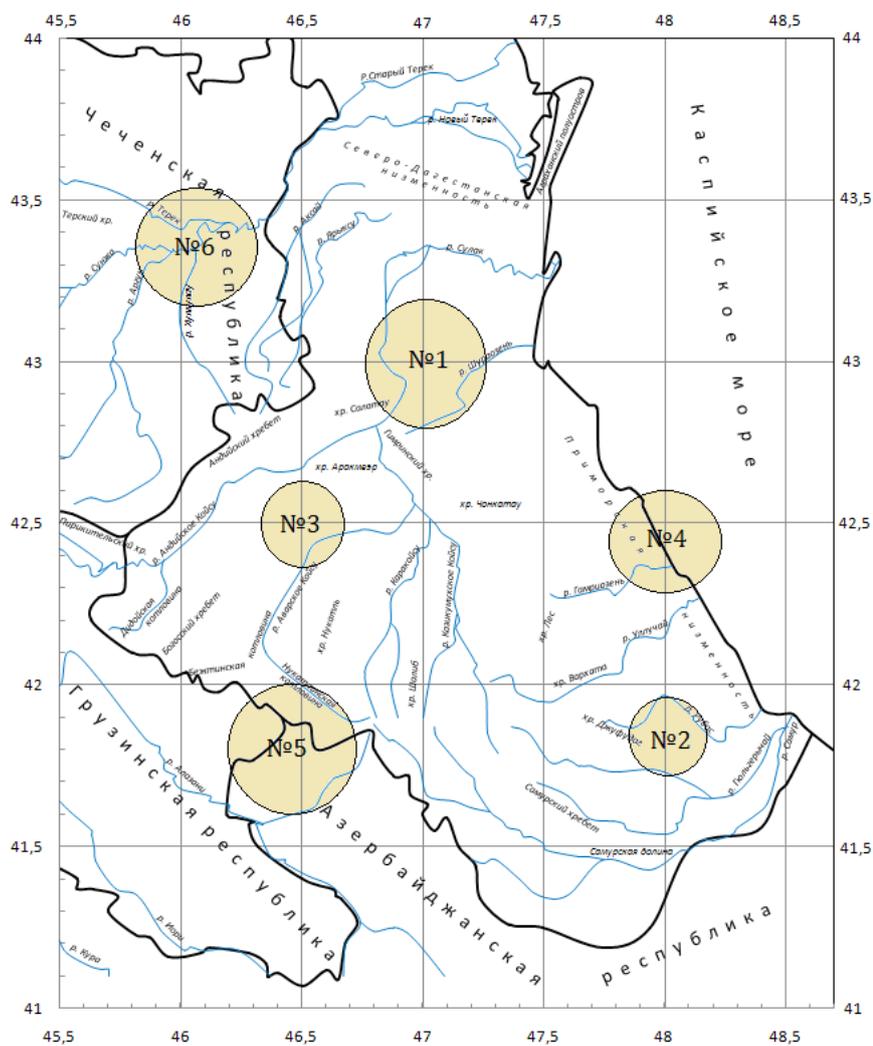


Рис. 5. Карта исследованных районов.

Обращает на себя внимание неравномерность изменения коэффициента повторяемости с глубиной. Хотя в литературе прослеживается указание на его убывание с глубиной, в нашем исследовании его изменение с глубиной носит колебательный относительно среднего значения  $\gamma=0,45$  характер.

Также было проведено сопоставительное исследование вариации повторяемости в шести сейсмоактивных районах рассматриваемой территории: №1 – фронтальная часть тектонической области Дагестанский клин; №2 – предгорье Самурского хребта; №3 – район Сулакского разлома; №4 – прибрежная акватория Каспийского моря; №5 – район юго-западного окончания Богосского хребта; №6 – восточная часть Чеченской республики (рис 5).

Полученные графики повторяемости землетрясений и соответствующие им уравнения для каждого района представлены на рис.6. Близкими оказались уравнения для первой и третьей зон и, несмотря на относительную отдаленность, несущественно отличаются уравнения для пятой и шестой зон. Выделяется вторая зона относительно низким коэффициентом повторяемости ( $\gamma=0,36$ ). В общем, заметно падение абсолютного значения коэффициента повторяемости от северо-запада к юго-востоку рассматриваемой территории.

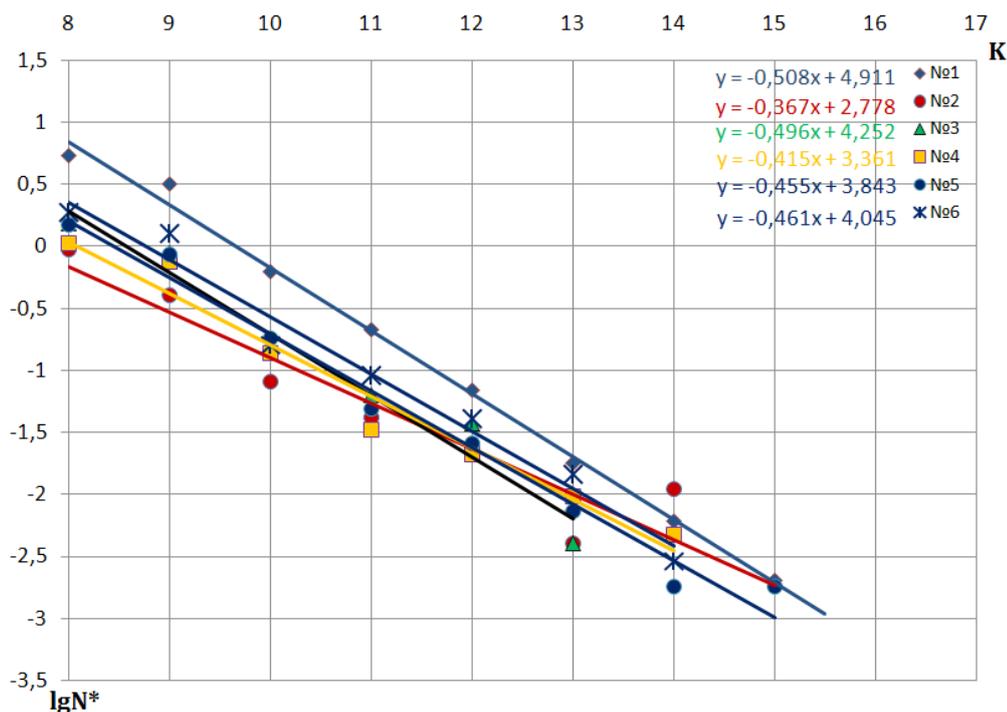


Рис. 6. Графики изменения повторяемости землетрясений по сейсмоактивным зонам.

Среднее значение коэффициента повторяемости  $\gamma = 0,45$  указывает на то, что нормированная повторяемость  $N^*$  землетрясений К-го энергетического класса в 2,8 раз больше нормированной повторяемости  $N^*$  землетрясений К+1-го энергетического класса, т.е. на каждое землетрясение К+1-го энергетического класса приходится примерно три землетрясения К-го энергетического класса. Если представить фрагмент сейсмического процесса в виде канторовского множества, то получим изображение в виде (рис. 7):



Рис.7. Представление фрагмента сейсмического процесса в виде канторовского множества.

Здесь прямоугольниками изображены землетрясения разных последовательных энергетических классов. Изменение высоты прямоугольников указывает на десятикратное изменение энергии при переходе от одного энергетического класса к последующему или к предыдущему. Тогда соответствующие друг другу числа землетрясений разных энергетических классов можно свести в таблицу:

Таблица 3.

К	16	15	14	13	12	11	10	9	8
16	1	2,8	7,8	22	61,5	172,1	481,9	1349,3	3778
15		1	2,8	7,8	22	61,5	172,1	481,9	1349,3
14			1	2,8	7,8	22	61,5	172,1	481,9
13				1	2,8	7,8	22	61,5	172,1
12					1	2,8	7,8	22	61,5

Причем землетрясения меньшего энергетического класса могут произойти как перед землетрясением большего энергетического класса, так и после него, чем и можно объяснить форшоковое и афтершоковое сопровождение землетрясений, причем форшоковое и афтершоковое сопровождение существует как для сильных, так и для слабых землетрясений. Поэтому для выделения потенциально сейсмически опасных зон представляет интерес выявление сценария развития форшоковой области сильных землетрясений. Расчет отношений нормированных повторяемостей  $N^*$  смежных классов землетрясений по данным таблицы 1 дает удовлетворительное согласие с фрактальным представлением сейсмического процесса и с показателем фрактальной размерности  $\gamma=0,45$ . Таким образом, сейсмичность предстает перед нами как взаимосвязанный на всех масштабных уровнях единый процесс.

### Литература

1. Уломов В.И. Выявление потенциальных очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений на Северном Кавказе. // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Том 1. Сейсмические процессы и катастрофы. М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 127-146.
2. Адилов З.А., Асманов О.А., Даниялов М.Г., Исаев М.А. Номограммы для определения класса землетрясений Дагестана // Современные методы обработки

и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 6-9.

3. Методы детального изучения сейсмичности. Труды института физики Земли АН СССР. М. – 1960 г, №9 (176), С. 192-246.

## OCCURRENCE OF FRACTALITY IN SEISMICITY OF DAGESTAN TERRITORY

**Z. A. Adilov, Sc. Candidate (Phys.-math.), O. A. Asmanov**

Dagestan Regional Seismological Center, GS RAS, 367008, Belinskogo str. 16,  
Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia  
e-mail: adilov79@mail.ru

**Abstract.** The changing of the seismic regime in the time for Dagestan and adjacent territories with the release of quasiregular temporary harmonics of different duration is considered. The Fractality of seismic process and changes of the equation of return period earthquakes depending on time, depth, and the surveillance area hanges is discussed. The dependence between the coefficients of the occurrence frequency equation for the investigated territory is detected.

**Keywords:** seismicity, fractals, return period, seismic regime