

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г.Бишкек, Кыргызстан

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАЗМЕРНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ТЯНЬ-ШАНЯ

**Аннотация:** В статье приводятся оригинальные результаты определения естественных размерностей сейсмической среды и сейсмических (геофизических) процессов.

**Ключевые слова:** естественная размерность, сейсмическая среда, геофизический процесс, фрактальная размерность, магнитуда, энергетический класс, степенной закон

## ТЯНЬ-ШАНДЫН МИСАЛЫНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК ПРОЦЕССТЕРДИН ЖАНА СЕЙСМИКАЛЫК ЧӨЙРӨНҮН ТАБИГЫЙ ЧЕНЕМДЕРИ

**Кыскача мазмуну:** Макалада сейсмикалык чөйрөнүн жана сейсмикалык (геофизикалык) процесстердин табигый ченемдерин аныктоолордун өзгөчө жыйынтыктары келтирилет.

**Негизги сөздөр:** табигый ченем, сейсмикалык чөйрө, геофизикалык процесс, фракталдык ченем, магнитуда, энергиялык класс, даражалуу закон.

## NATURAL DIMENSIONS OF SEISMIC PROCESSES AND SEISMIC ENVIRONMENT ON THE TIEN SHAN EXAMPLE

**Abstract:** Results of new definition of natural dimension of the seismic environment and seismic (geophysical) processes are presented in the paper.

**Keywords:** Natural dimension, seismic environment, geophysical process, fractal dimension, magnitude, energy class, power law.

### Введение

Землетрясения, произошедшие в Земном шаре, его частях, а именно в литосферных плитах, в иерархии активных блоков и зон разломов [1], формируют соответствующие сейсмические среды (сейсмогенные образования), т.е. компактные множества с естественной (природной) размерностью. В связи с тем, что геофизическая среда является дискретной средой [2-6], сейсмогенные образования, вероятно, имеют состояние не похожее на газообразное состояние и не похожее на состояние твёрдого тела. Естественная размерность может отличаться от традиционной: одномерной, двумерной, трёхмерной и других целочисленных размерностей. Хотя определяются пространственные параметры (координаты, глубина), время, энергетические параметры и т.д. землетрясений, представляющие собой составные части сейсмогенной среды (системы). Данная сейсмогенная система, как и физическая, астрофизическая, биологическая системы, химические соединения и т.п., может иметь характерные свойства со специфическими системами координат (размерностями).

### Размерность сейсмической среды

Хаусдорф в 1919 г. предложил определение размерности для случая компактного множества в произвольном метрическом пространстве [7-9]:

$$D = \lim[\ln N(\delta) / \ln(1/\delta)] \quad (1)$$

или

$$N(\delta) \approx \delta^{-D}, \quad (2)$$

где  $N(\delta)$ -минимальное количество окружностей радиуса  $\delta$ , покрывающее это множество. Величину  $\delta$  в общем виде можно назвать “фактором”. Для определения естественной размерности сейсмической среды в качестве фактора может быть взята энергия  $E$  землетрясения или максимальная амплитуда  $A$  сейсмических (объёмных, поверхностных) волн, а также величина сейсмического момента  $M_0$ , длина разлома  $L$  землетрясения, подвижка  $U$  по разлому и т.д. Соответственно, формула (2) в этих факторах будут иметь вид:

$$N(K) \approx K^{-D}, N(m_{pv}) \approx m_{pv}^{-D}, N(Ms) \approx Ms^{-D}, N(Mw) \approx Mw^{-D}, N(L) \approx L^{-D}, N(U) \approx U^{-D} \quad (3)$$

где  $K = \lg E$  – энергетический класс,  $m_{pv}$  и  $Ms$  – магнитуды по объёмным и поверхностным волнам,  $Mw$  - моментная магнитуда,  $L$  - длина разлома землетрясения,  $U$  – подвижка по разлому землетрясения,  $D$  – размерность сейсмической среды.

Рихтер и Гутенберг [10, 11] впервые предложили зависимость между магнитудой  $M$  и общим числом  $N$  землетрясений для любого заданного региона и промежутка времени:

$$\lg N = a - bM \quad (4)$$

или

$$N \approx aA^{-b}, \quad (5)$$

где  $N$  - среднегодовая частота землетрясений,  $A$  - амплитуда сейсмических волн,  $M$  - магнитуда землетрясения,  $a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты нелинейного степенного распределения. Для землетрясений всего Земного шара эти коэффициенты составляли  $a=0.48$ ,  $b=0.90$ . Сопоставляя (1), (2) с одной стороны и (4), (5) с другой, можно сказать, что между ними существует аналогия. Рихтер и Гутенберг, вероятно, не знали, что ими впервые определена естественная фрактальная размерность сейсмической среды, т.е. коэффициент  $b$  в выражениях (4), (5) представляет собой размерность  $D$  в (1) и (2).

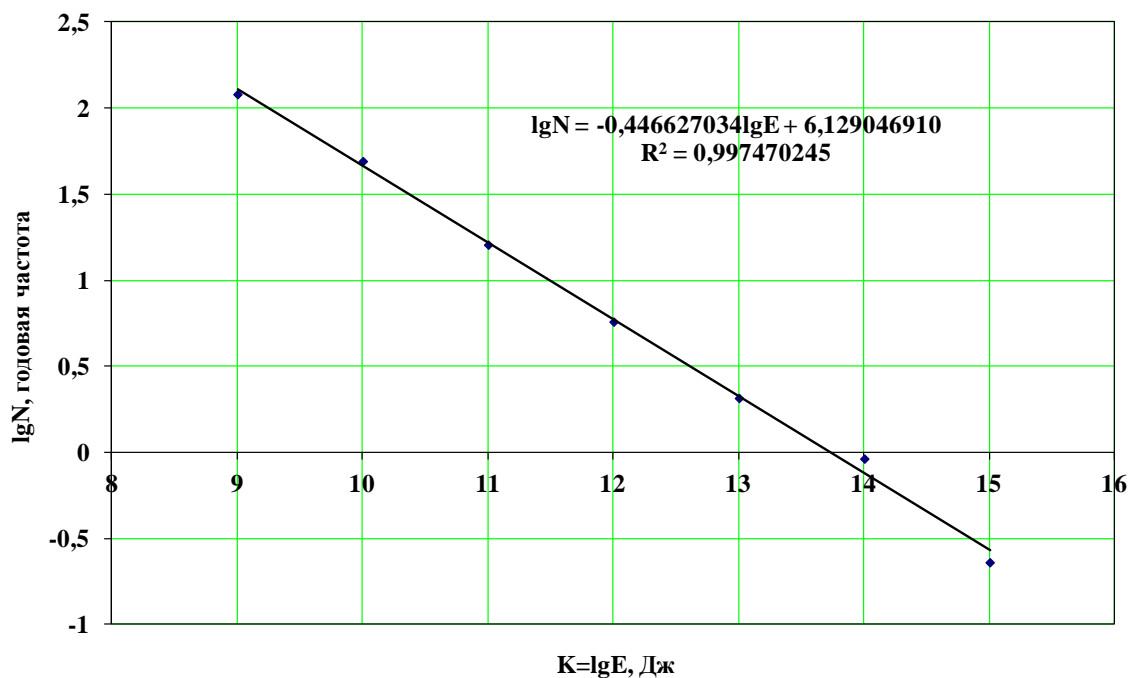
До сих пор природа коэффициента  $b$  оставалась непонятной. Касахара [12] отмечал, “что значение  $b$ , вероятно, отражает каким-то образом свойство среды”. Теперь, опираясь на вышеизложенное, можно сказать более определённо, что величина  $b$  является размерностью произвольного метрического пространства сейсмической среды. Данная размерность может изменяться в соответствии с нелинейной динамикой сейсмического процесса.

Изучение зависимости между сейсмической энергией и числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  и  $\lambda=69-81^\circ$  за 2011-2015 гг. (на основе каталога Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики) показало, что она выражается формулой:

$$N = 1.345998856 \times 10^6 E^{-0.446627034}, \quad R^2 = 0.997470245 \quad (6)$$

где  $N$  – среднегодовая частота землетрясений,  $E$  – сейсмическая энергия землетрясений (Дж),  $R^2$  – достоверность аппроксимации. Соответственно, землетрясения распределяются нелинейно по степенному закону. Сейсмическая среда относительно сейсмической энергии имеет естественную размерность, которая равна  $D = 0.446627034$ .

На рисунке 1 приведена зависимость между энергетическим классом ( $K \geq 9.0$ ) и числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  и  $\lambda=69-81^\circ$  за 2011-2015 гг. (Каталог Института сейсмологии НАН КР).



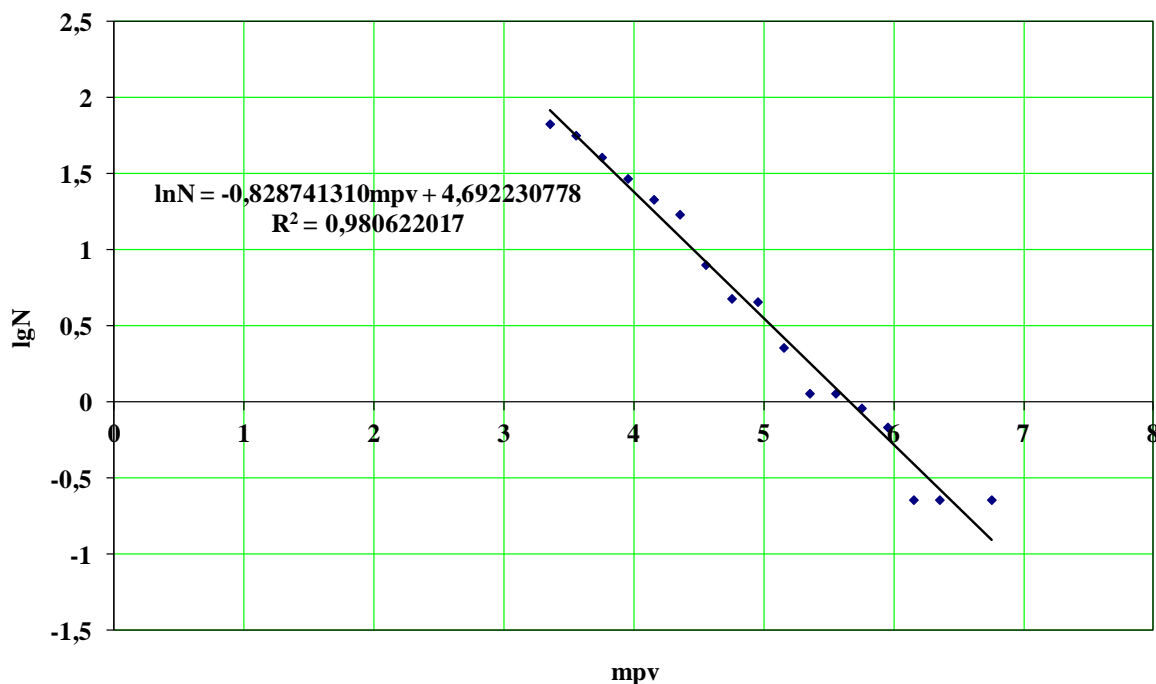
**Рисунок 1.** Зависимость между энергетическим классом и среднегодовым числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

Данная зависимость выражается формулой:

$$\lg N = -0.446627034 \lg E + 6.129046910, \quad R^2 = 0.9974 \quad (7)$$

где  $N$  – среднегодовая частота землетрясений,  $\lg E$  – энергетический класс землетрясений. Повторяемость землетрясений с разным энергетическим классом предопределяется фрактальной естественной размерностью сейсмической среды Тянь-Шаня  $D=0.446627034$ .

На рисунке 2 приведена зависимость между магнитудой  $m_{pv}$  (с шагом 0.2) и числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  и  $\lambda=69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.



**Рисунок 2.** Зависимость между магнитудой  $m_{pv}$  (с шагом 0.2) и среднегодовым числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

Данная зависимость выражается формулой:

$$\lg N = -0.828741310m_{pv} + 4.692230778, \quad R^2 = 0.980622017 \quad (8)$$

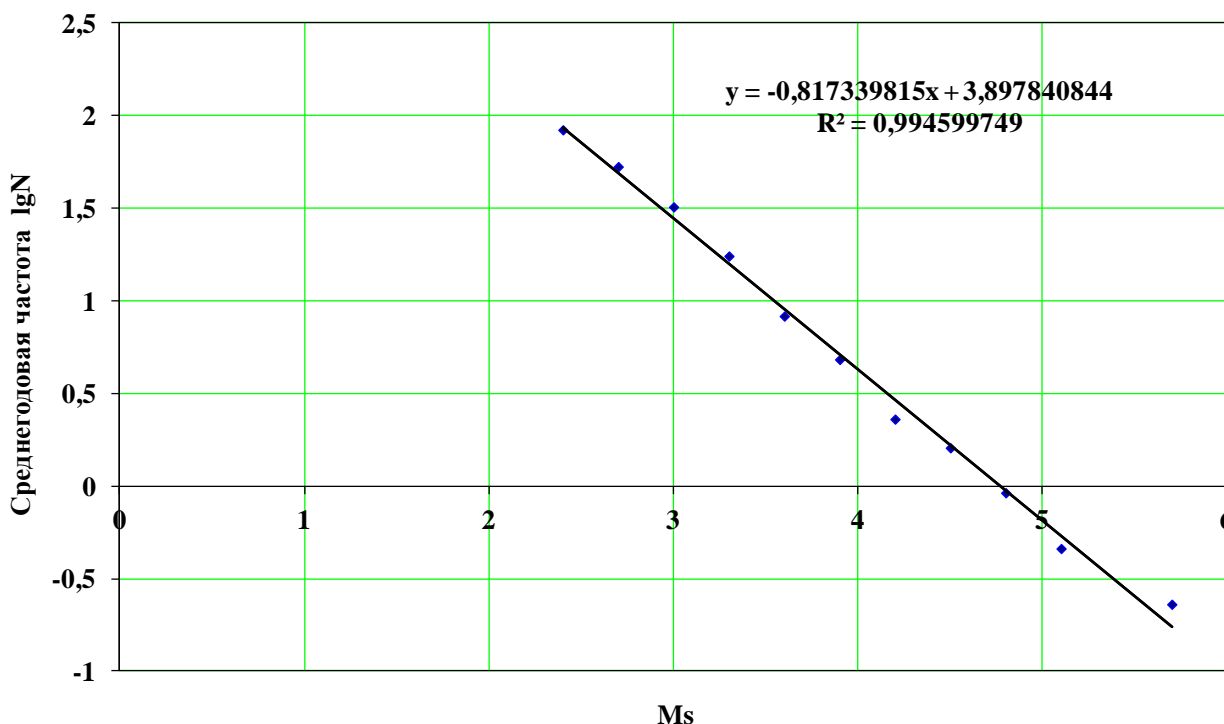
где  $N$  – среднегодовая частота землетрясений,  $m_{pv}$  – магнитуда землетрясений. Сейсмическая среда Тянь-Шаня относительно магнитуды  $m_{pv}$  имеет естественную размерность  $D = 0.82874131$ .

На рисунке 3 приведена зависимость между магнитудой  $M_s$  (с шагом 0.3) и числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг. Зависимость выражается формулой:

$$\lg N = -0.817339815M_s + 3.897840844, \quad R^2 = 0.994599749 \quad (9)$$

где  $N$  – среднегодовая частота землетрясений,  $M_s$  – магнитуда землетрясения.

Дискретная среда Тянь-Шаня относительно магнитуды  $M_s$  землетрясений имеет естественную размерность  $D = 0.817339815$ .

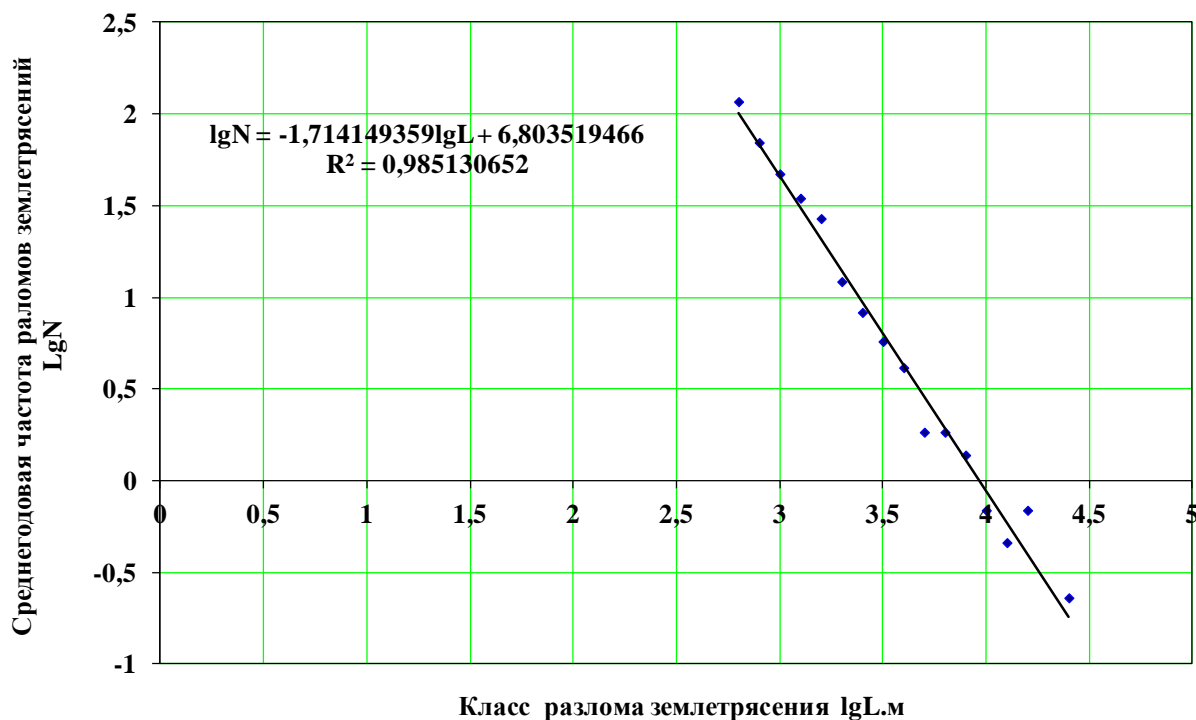


**Рисунок 3.** Зависимость между магнитудой  $M_s$  (с шагом 0.3) и среднегодовым числом землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

На рисунке 4 приведена зависимость между классом длины разломов  $K_L = \lg L$ , м, (например,  $K_L = 2.7, 2.8, \dots$  с шагом 0.1) и числом разломов землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг. Зависимость выражается формулой:

$$\lg N = -1.714149359 \lg L + 6.803519466, \quad R^2 = 0.98513 \quad (10)$$

где  $N$  – среднегодовая частота разломов землетрясений,  $L$  – длина разлома землетрясения (м). Здесь можно отметить, что минимальная длина разрыва может быть сопоставима, в частности, с размером минеральных зерен. Среднегодовая кумулятивная длина разломов землетрясений рассматриваемого региона Тянь-Шаня составляла 379.5 км.



**Рисунок 4.** Зависимость между классом длины разлома  $KL=lgL$  (с шагом 0.1) и среднегодовым числом разломов землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  и  $\lambda=69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

Длина разломов землетрясений распределяется нелинейно по степенному закону:

$$N = 10^{6.8035} K_L^{-1.714149359} \quad (11)$$

По (11) можно оценить среднегодовую суммарную длину каждого класса длины разлома.

Дискретная среда Тянь-Шаня относительно длины разломов землетрясений имеет естественную размерность  $D=1.714149$ .

Вместе с тем на основе (10) можно оценить вероятное время повторения определённых классов длины разломов:

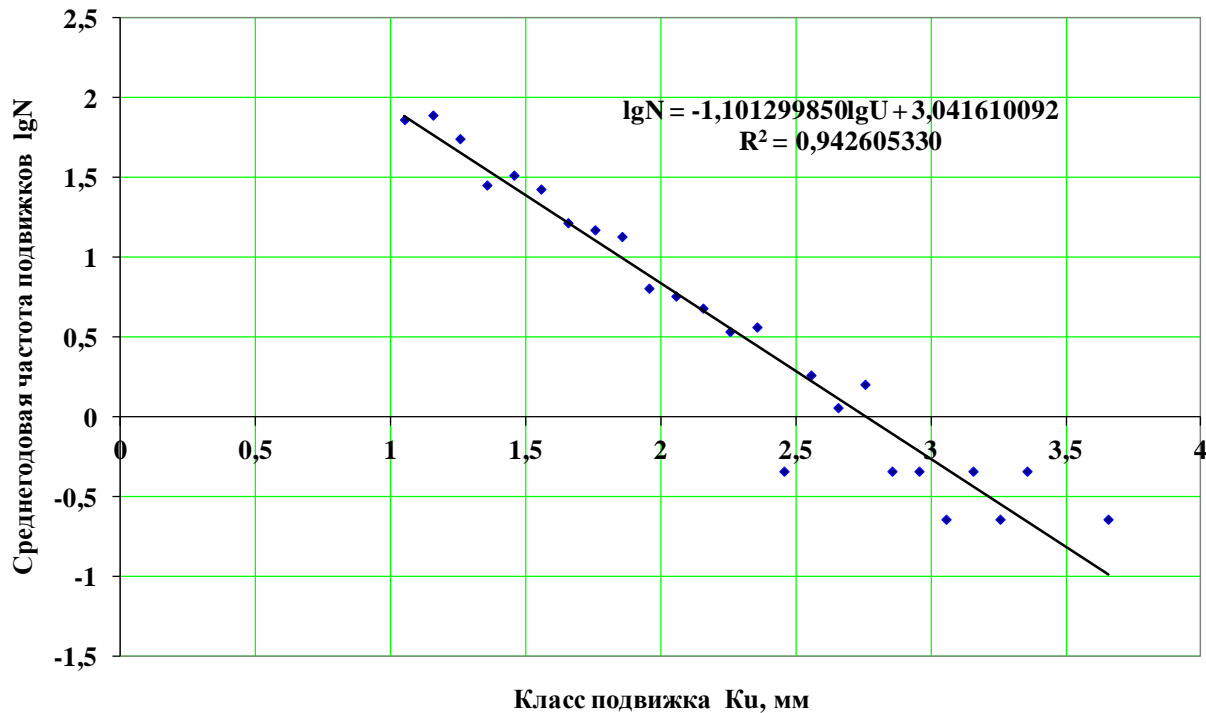
$$lg T = 1.714149359 lg L - 6.803519466, \quad R^2 = 0.98513 \quad (12)$$

где,  $T$  – вероятное время (год) повторения определённого класса длины разломов землетрясений,  $L$  – длина разлома землетрясения (м).

На рисунке 5 приведена зависимость между классом подвижек по разлому  $K_U=lgU$ , мм (например,  $K_U=1.055, 1.155, \dots$  с шагом 0.1) и числом разлома землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  и  $\lambda=69-81^\circ$  за 2011-2015 гг. Зависимость выражается формулой:

$$lg N = -1.10129985 lg U + 3.041610092, \quad R^2 = 0.94260533 \quad (13)$$

где  $N$  – среднегодовая частота разломов землетрясений,  $U$  – подвижка по разлому землетрясения (мм). Среднегодовая кумулятивная длина разломов землетрясений рассматриваемого региона Тянь-Шаня составляла 77 м.



**Рисунок 5.** Зависимость между классом подвижек по разлому  $KU=\lg U$  (например,  $KU=1.055$ ,  $1.155$ , с шагом  $0.1$ ) и среднегодовым числом разломов землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  и  $\lambda=69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

Подвижки по разломам землетрясений распределяются нелинейно по степенному закону:

$$N = 333.41K_U^{-4.8653} \quad (14)$$

По (14) можно оценить среднегодовую суммарную подвижку каждого класса подвижек. Дискретная среда Тянь-Шаня относительно подвижек по разломам землетрясений имеет естественную размерность  $D=1.10129985$ .

На рисунках 1-5 отмечаются некоторые флуктуации частоты землетрясений. По ним можно выделить своеобразные дефициты землетрясений, которые могут проявиться в дальнейшем время.

Вышеизложенные положения позволяют отметить, что сейсмическая среда Тянь-Шаня относительно факторов таких, как высвобождение сейсмической энергии  $E$ , проявление землетрясений различного энергетического класса  $K=LgE$  (Дж), магнитуд  $m_{pv}$ ,  $M_s$ , образование разломов землетрясений с характерными длинами  $L$ , подвижками  $U$  и т.д. имеет свойственную естественную размерность. Эти факторы распределены самоподобно, нелинейно по степенному закону. Степенной закон распределения выражает нелинейные процессы дискретной геофизической среды. Данная закономерность может являться основой теории и практики сейсмологии на новом уровне.

### Размерность сейсмических процессов

Временные ряды сейсмических параметров являются естественными фракталами, а сейсмические процессы имеют фрактальную размерность, которая предопределяет характер их взаимосвязи (соотношение). В сейсмологии принято рассматривать корреляционные взаимосвязи параметров [10, 11], например, взаимосвязи между магнитудами ( $m_{pv}$ ,  $M_s$  и т.д.), сейсмической энергией, сейсмическим моментом землетрясений и т.д. Вместе с тем средние значения, например, магнитуды, энергии и др. на сейсмических станциях сети принимаются за искомые значения в определенном приближении.

Время вступления сейсмических волн и проявления А/Т на разных сейсмических станциях представляет собой временной ряд сейсмических процессов за период  $\tau$  (интервал) от времени на близкой станции до времени на дальней станции при определённом землетрясении. Временной ряд может иметь характерный разброс (размах)  $R$  и стандартное отклонение  $S$ . В соответствии с теорией фрактального анализа [8, 9, 13, 14] нормированный размах  $R/S$  может быть выражен формулой:

$$R/S = (\tau/2)^H, \quad (15)$$

где  $R(\tau)$  – размах временного ряда за период  $\tau$ ,  $S$ - стандартное отклонение за период  $\tau$ ,  $H$  - показатель Херста. Фрактальная размерность временного ряда может быть определена по формуле:

$$D = 2 - H \quad (16)$$

Вместе с тем временной ряд характеризуется индексом фрактальности:

$$M = 1 - H \quad \text{или} \quad \mu = D - 1 \quad (17)$$

и показателем фрактальности:

$$d = 2H + 1. \quad (18)$$

Эти параметры определены для временных рядов А/Т землетрясений Тянь-Шаня и приведены в таблице 1.

Показатель Херста -  $H$  по (15) изменяется от 0.011 до 0.47. Индекс фрактальности (17) находится в пределах  $\mu = 0.52 - 0.98$ , а показатель фрактальности (18)  $d = 1.023 - 1.943$ . Размерность фрактальности временного ряда А/Т по (16) составляет  $D = 1.528 - 1.988$ . Эти численные параметры означают, что временной ряд А/Т является естественным фракталом и в соответствии с теорией фрактального анализа в сейсмическом процессе существует “отрицательная память”, т.е. если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет отрицательное и наоборот.

Таблица 1.

**Параметры временных рядов А/Т ряда землетрясений Тянь-Шаня:  $\tau$ - период наблюдения А/Т на станциях,  $R$ - разброс значений  $\ln(A/T)$ ,  $S$ - стандартное отклонение,  $H$ -показатель Херста,  $D$ -фрактальная размерность временного ряда,  $\mu$ -индекс фрактальности,  $d$ - показатель фрактальности.**

Дата события	$\tau$	$R$	$S$	$R/S$	$H$	$D$	$\mu$	$d$
08.10.2005	28,56	2,03	0,89	2,280899	0,390197	1,609803	0,609803	1,780394
25.12.2006	28,95	1,3	1,26	1,031746	1,221231	0,778769	-0,22123	3,442462
01.02.2009	30,04	2,9	1,46	1,986301	0,735034	1,264966	0,264966	2,470069
09.04.2011	16,9	2,9	1,448	2,002762	0,723001	1,276999	0,276999	2,446003
09.04.2011	39,6	3	1,49	2,013423	0,740033	1,259967	0,259967	2,480067
23.11.2013	23,2	3,4	1,07	3,17757	0,336735	1,663265	0,663265	1,673471
03.12.2013	31,8	3,4	1,97	1,725888	1,141441	0,858559	-0,14144	3,282882
08.12.2013	30,1	4,4	1,79	2,458101	0,728205	1,271795	0,271795	2,456409
09.12.2013	52,4	5	2,03	2,463054	0,82418	1,17582	0,17582	2,64836
26.12.2013	64,6	4,4	1,54	2,857143	0,539	1,461	0,461	2,078
15.08.2014	79,7	4,9	1,42	3,450704	0,41151	1,58849	0,58849	1,82302
14.11.2014	16	3,3	1,66	1,987952	0,83503	1,16497	0,16497	2,670061

Изучение временных рядов энергетического класса  $K = \lg E$  (Дж), магнитуд  $m_{pv}$ ,  $M_s$  и длины разломов  $L$  землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг. (Каталог ИС НАН КР) показало (таблице 2), что они являются естественными фракталами.

Таблица 2.

**Параметры временных рядов сейсмической энергии  $E$  (Дж), энергетического класса  $K$ , магнитуд  $m_{pv}$ ,  $M_s$  и длины разлома  $L$  (км) землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39 - 44^\circ$  и  $\lambda = 69 - 81^\circ$  за 2011 - 2015 гг.**

Параметры временного ряда	Сейсмическая энергия $E$ , Дж	Энергетический класс $K=lgE$ , Дж	Магнитуда $m_{pv}$	Магнитуда $M_s$	Длина разлома $L$ , км
Среднее значение	1.60819E+12	8.92	3.72	2.56	1.0321
Стандартное отклонение $S$	3.5563E+13	0.9755	0.5142	0.5141	1.2474
Разброс значений $R$	0.9999E+15	7	4.3	4.4	24.2889
Период наблюдения $\tau$ , сутки	1609.014	1609.014	1294.03	1294.03	1609.014
Показатель Херста $H$	0.5484	0.2945	0.3281	0.3317	0.4438
Размерность $D$	1.4516	1.7055	1.6718	1.6683	1.5562
Показатель фрактальности $\mu$	0.4516	0.7055	0.6718	0.6683	0.5562
Показатель размерности $d$	2.0968	1.589	1.6562	1.6634	1.8875

Естественная размерность временного ряда сейсмической энергии землетрясений равна  $D=1.4516$ , энергетического класса землетрясений –  $D=1.6688$ , временного ряда магнитуды  $m_{pv}$  –  $D=1.6718$ , временного ряда магнитуды  $M_s$  –  $D=1.6683$ , временного ряда длины разломов землетрясений –  $D=1.5562$ . В соответствии с теорией фрактального анализа временной ряд сейсмической энергии может быть отнесен к процессу, обладающему «положительной» памятью, где  $2 < d \leq 3$  ( $0 \leq \mu < 0.5$ ,  $0.5 < H \leq 1$ ), а временные ряды энергетического класса  $K$ , магнитуд  $m_{pv}$ ,  $M_s$  и длины разлома  $L$  землетрясений могут быть отнесены к процессу, обладающему «отрицательной» памятью, где  $1 \leq d < 2$  ( $0.5 < \mu \leq 1$ ,  $0 \leq H < 0.5$ ). «Положительная» память означает, что если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет также наблюдаться положительное и наоборот. «Отрицательная» память означает – если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет отрицательное и наоборот. Когда  $d=2$  ( $\mu=0.5$ ,  $H=0.5$ ), тогда временной ряд относится к процессу, где отсутствует память, т.е. следующее приращение не зависит от всех предыдущих. В связи с этим можно сказать, что процессы с памятью обуславливают, в частности, сейсмические циклы и другие закономерности. Именно эти процессы с памятью позволяют прогнозировать сейсмическую опасность с определённой вероятностью.

На рисунках 6 и 7 приведены зависимость энергетического класса  $K=lgE$  от магнитуды  $m_{pv}$  и зависимость магнитуды  $m_{pv}$  от энергетического класса  $K=lgE$  землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг., соответственно. Эти зависимости  $lgE(m_{pv})$  и  $m_{pv}(lgE)$  выражены формулами:

$$lg E = 1.763427182m_{pv} + 2.353202300, \quad R^2 = 0.904896499 \quad (19)$$

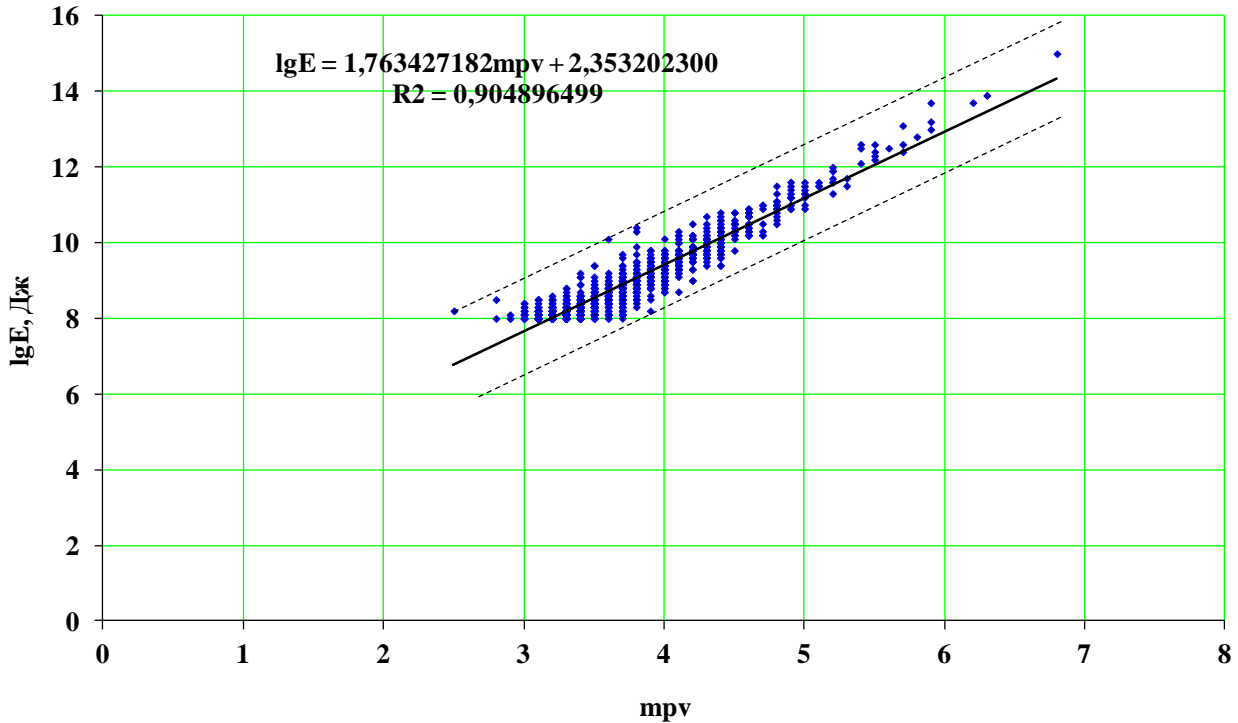
и

$$m_{pv} = 0.513146507lg E - 0.854006895, \quad R^2 = 0.904896499, \quad (20)$$

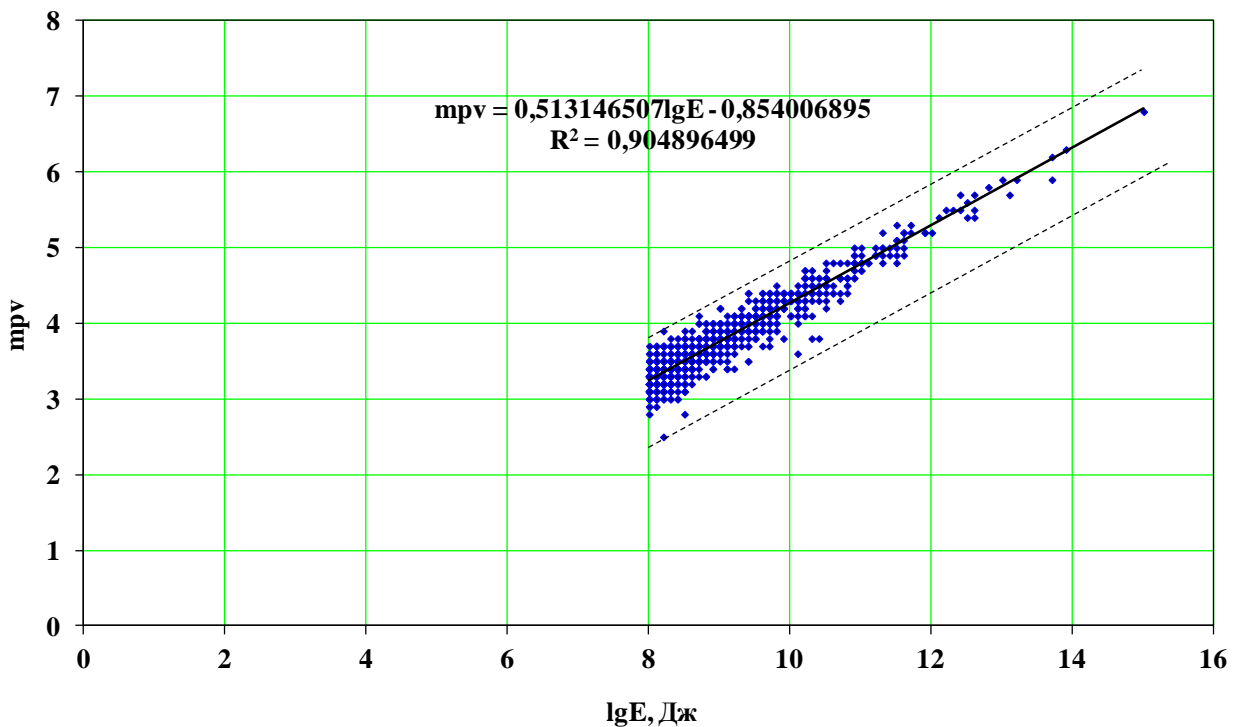
где  $R^2$ - достоверность аппроксимации.



Выражения (19) и (20) не равнозначны, т.е. при определении  $m_{pv}$  от (19) не получится (20), также при определении  $lgE$  от (20) не получится (19). Это положение предопределено характерными естественными фрактальными размерностями  $lgE$  и  $m_{pv}$ . На графиках  $lgE(m_{pv})$  и  $m_{pv}(lgE)$  наблюдается флуктуация. Здесь можно выделить верхний и нижний пределы для флуктуации в виде параллельных линий средней линии (линейному тренду).



**Рисунок 6.** Зависимость  $lgE$  от магнитуды  $m_{pv}$  землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.



**Рисунок 7.** Зависимость магнитуды  $m_{pv}$  от  $lgE$  землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

На рисунках 8 и 9 приведены зависимость магнитуды  $m_{pv}$  от магнитуды  $M_s$  и зависимость магнитуды  $M_s$  от магнитуды  $m_{pv}$ , соответственно. Эти зависимости выражаются формулами:

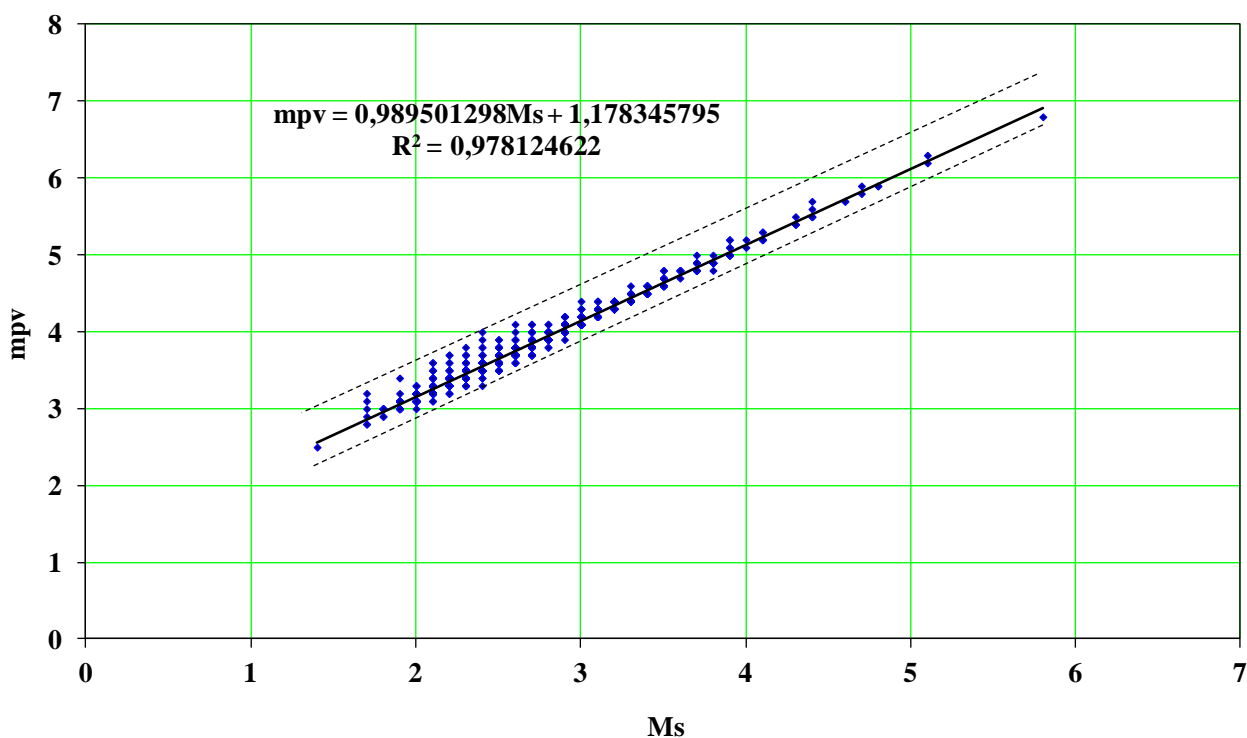
$$m_{pv} = 0.989501298M_s + 1.178345795, \quad R^2 = 0.978124622 \quad (21)$$

и

$$M_s = 0.988502617m_{pv} - 1.108667180, \quad R^2 = 0.978124622, \quad (22)$$

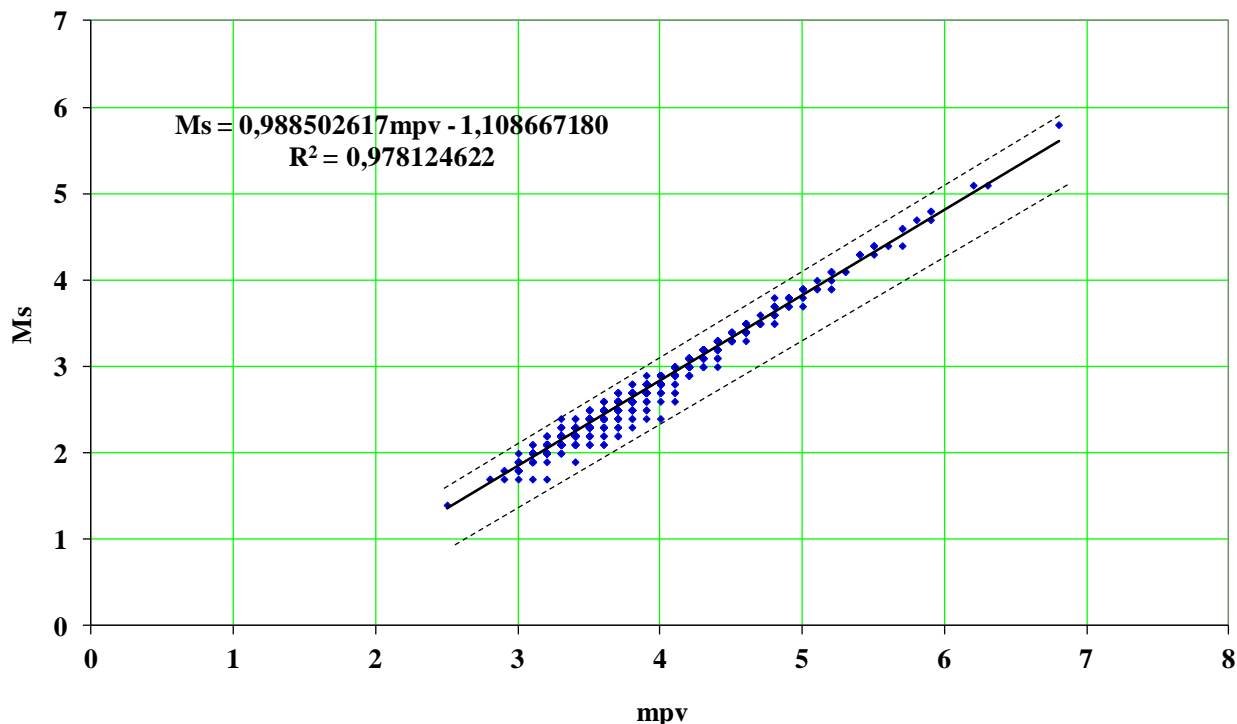
где  $R^2$ - достоверность аппроксимации.

Выражения (21) и (22) не равнозначны, т.е. при определении  $M_s$  от (21) не получится (22), также при определении  $m_{pv}$  от (22) не получится (21). Это обусловлено, вероятно, свойственными естественными фрактальными размерностями магнитуд  $M_s$  и  $m_{pv}$ . На графиках  $m_{pv}(M_s)$  и  $M_s(m_{pv})$  наблюдается флуктуация. Здесь можно выделить верхний и нижний пределы флуктуации в виде параллельных линий средней линии (линейному тренду). Между этими линиями можно проводить систему параллельных линий, в пределах которых значения  $M_s$  и  $m_{pv}$  имеют коэффициент корреляции около  $k=1$ .



**Рисунок 8.** Зависимость магнитуды  $m_{pv}$  от магнитуды  $M_s$  землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

Следовательно, можно сказать, что взаимосвязи параметров предопределяются их естественными фрактальными размерностями. Это положение открывает новые горизонты в разных областях науки.



**Рисунок 9.** Зависимость магнитуды  $M_s$  от магнитуды  $m_{rv}$  землетрясений Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.

### Заключение

1. Сейсмическая среда Тянь-Шаня относительно факторов, как высвобождение сейсмической энергии  $E$ , проявление землетрясений различного энергетического класса  $K = \lg E$  (Дж), магнитуд  $m_{rv}$ ,  $M_s$ , образование разломов землетрясений с характерными длинами  $L$ , подвижками  $U$  и т.д., имеет свойственную естественную размерность. Эти факторы распределены самоподобно, нелинейно по степенному закону. Степенной закон распределения выражает нелинейные процессы дискретной геофизической среды. Данная закономерность может являться основой теории и практики сейсмологии на новом уровне.
2. Установлено, что временные ряды сейсмических параметров являются естественными фракталами, а сейсмические процессы имеют фрактальную размерность, которая предопределяет характер их взаимосвязи (соотношений). Взаимосвязи сейсмических параметров в одном (например, зависимость  $m_{rv}$  от  $M_s$ ) и в обратном (зависимость  $M_s$  от  $m_{rv}$ ) направлениях неравнозначны, что обусловлено их разными фрактальными размерностями. Естественная размерность временного ряда сейсмических параметров (Тянь-Шаня в квадрате  $\varphi = 39-44^\circ$  и  $\lambda = 69-81^\circ$  за 2011-2015 гг.), в частности, сейсмической энергии землетрясений равна  $D = 1.4516$ , энергетического класса землетрясений –  $D = 1.6688$ , временного ряда магнитуды  $m_{rv}$  –  $D = 1.6718$ , временного ряда магнитуды  $M_s$  –  $D = 1.6683$ , временного ряда длины разломов землетрясений –  $D = 1.5562$ . В соответствии с теорией фрактального анализа временной ряд сейсмической энергии может быть отнесён к процессу, обладающему «положительной» памятью, где  $2 < d \leq 3$  ( $0 \leq \mu < 0.5$ ,  $0.5 < H \leq 1$ ), а временные ряды энергетического класса  $K$ , магнитуд  $m_{rv}$ ,  $M_s$  и длины разломов  $L$  землетрясений могут быть отнесены к процессу, обладающему «отрицательной» памятью, где  $1 \leq d < 2$  ( $0.5 < \mu \leq 1$ ,  $0 \leq H < 0.5$ ). «Положительная» память означает, что если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью

будет также наблюдаться положительное и наоборот. «Отрицательная» память означает, что если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет отрицательное и наоборот. Процессы с памятью обуславливают, в частности, сейсмические циклы и другие закономерности. Именно эти процессы с памятью позволяют прогнозировать сейсмическую опасность с определённой вероятностью.

*Рецензент: д.т.н., чл.-корр. НАН КР, проф. Оморов Р.О.*

### Литература

1. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э. Масштабный закон периодичности проявления и повторяемости землетрясений. Кыргызпатент, Авторское свидетельство №2037, 2012.
2. Садовский М.А., Писаренко Н.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М. Наука, 1991, -196 с.
3. Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С. Динамическая сегментация активных разломов и модель развития очага землетрясения Тянь-Шаня. //Сборник материалов четвертого международного симпозиума 15-20 июня 2008 г. «Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы». Москва-Бишкек, 2009. С.446-452.
4. Омуралиев М., Омуралиева А. Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, 2012. №3. С.70-83.
5. Лукк А.А., Дещеревский А.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. М.: ОИФЗ РАН, 1996. С. 210.
6. Захаров В.С. Самоподобие структур и процессов в литосфере по результатам фрактального и динамического анализа. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Москва, 2014. С.35.
7. Хаусдорф Ф. Теория множеств М.-Л., 1937.
8. Mandelbrot B. V. The Fractal Geometry of Nature. New York: W. H. Freeman and Co, 1982, p.468.
9. Федер Е, Фракталы. М. Мир, 1991. С. 254.
10. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. М: Изд. Иностран. литер.1963,с. 670.
11. Gutenberg B., Richter C.F. Magnitude and energy of earthquakes./ Am. Geophys. (Rome), 9,1956, 1-15.
12. Касахара К. Механика землетрясений М. Мир,1985. С. 264.
13. Зосимов В.В., Лямшев Л.М. Фракталы в волновых процессах. // УФН, 1995, № 4, С. 361-401.
14. Фракталы в физике /Под ред. А. Пьетронеро, Э. Тозатти. Москва: Мир, 1988, с. 672.