

Ю. Р. БАГДАСАРЯН

СВЯЗЬ МЕЖДУ СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ
ТАВРО-КАВКАЗА

Рассматривается ряд совокупностей сильных землетрясений Тавро-Кавказского региона с точки зрения временной связи. Показан неслучайный характер склонения экспериментальных частот землетрясений от закона Пуассона. Методами математической статистики подробно анализируются промежутки времени между моментами возникновения землетрясений, в результате чего показывается, что моменты возникновения землетрясений не случайны, и между ними существует положительная связь.

В настоящее время существует ряд публикаций, освещающих сейсмический режим Армянского нагорья и Кавказа [1,5—11]. Но среди них мало работ, посвященных особенностям временного хода сейсмичности, в частности Армянского нагорья. В них в основном выявлены пространственные закономерности сейсмичности, которые, как правило, связываются с региональной геологией.

В настоящей статье рассматривается вопрос связи между сильными землетрясениями Тавро-Кавказского региона, причем под связью мы понимаем статистическую связь между моментами возникновения землетрясений, что является понятием более обширным, чем генетическая связь. Иными словами, ставится задача выяснения не генетической связи между отдельными землетрясениями, а сейсмического режима на уровне сильных землетрясений в целом, как системы причинно-связанных или несвязанных событий.

Известно, что время подготовки тектонических землетрясений зависит от темпа нарастания упругих деформаций и иногда охватывает целые десятилетия. Следовательно, для изучения связи между такими событиями необходимо располагать длительными наблюдениями. Поэтому мы рассматриваем ряд совокупностей землетрясений с магнитудами $M \geq 5$, $M \geq 5,5$, $M \geq 6$, которые произошли за последние 100 лет, а также трехсотлетние наблюдения над землетрясениями с магнитудой $M \geq 6$.

Распределение землетрясений во времени. Сопоставление частот повторяемости землетрясений с теоретическими распределениями является одним из способов опознания стационарности сейсмического режима. Мы воспользовались этим приемом для выяснения связи между сильными землетрясениями Тавро-Кавказского региона. С этой целью в качестве теоретических распределений рассматриваем распределение Пуассона

$$P_m = \frac{e^{-a} a^m}{m!} \quad (1)$$

и распределение Пойя

$$P_m = \frac{a(a+d)(a+2d) \dots [a+(m-1)d]}{m!(1+d)^{a/d+m}} \quad (2)$$

Первое из них указывает на независимость событий (землетрясений), а второе наоборот. Примером такого сопоставления может служить таблица 1, из которой видно, что критерий χ^2 при 5%-ом уровне значимости приводит к противоречию с гипотезой Пуассона, а правдоподобность о следовании экспериментальных частот к распределению Пойя полностью принимается.

На рис. 1 представлены графические изображения таких сопоставлений для двенадцати совокупностей сильных землетрясений наблюдаемого региона, а результаты сравнений приведены в табл. 2.

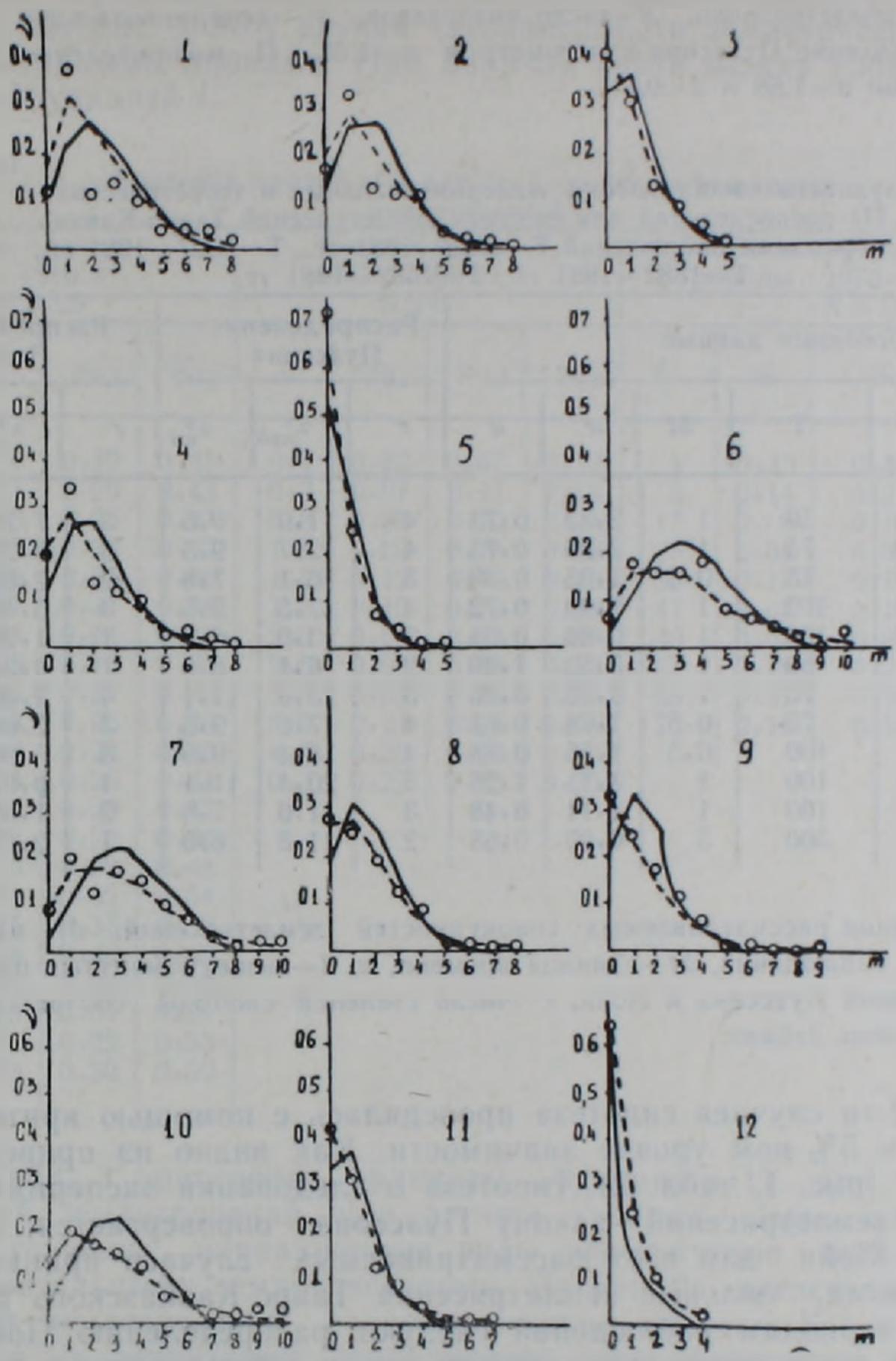


Рис. 1. Сопоставление частот повторяемости сильных землетрясений с теоретическими распределениями Пуассона и Пойя. Сплошная кривая—распределение Пуассона, пунктирная—распределение Пойя.

Таблица 1

Распределение повторяемостей землетрясений с магнитудой $M \geq 5$ Тавро-Кавказского района по полугодовым интервалам и сравнение его с теоретическими распределениями Пуассона и Пойя за период 1907—1981 г.г.

m	J	ν	p	$\frac{(\nu-p)^2}{p}$	Π	$\frac{(\nu-\Pi)^2}{\Pi}$
0	43	0.287	0.184	0.0577	0.267	0.0015
1	38	0.253	0.311	0.0108	0.280	0.0026
2	28	0.187	0.263	0.0210	0.200	0.0008
3	20	0.133	0.148	0.0015	0.110	0.0014
4	13	0.087	0.062	0.0010	0.066	0.0067
5	3	0.020	0.021		0.034	
6	3	0.020	0.006		0.016	
7	1	0.007	0.001	0.0241	0.007	0.0005
8	1	0.007	0.000		0.003	

150

$r=4$
 $\chi^2_{\text{наб}}=17.57$
 $\chi^2_{\text{кр}}=9$

$r=3$
 $\chi^2_{\text{наб}}=3$
 $\chi^2_{\text{кр}}=7.8$

где m — число землетрясений, J — число интервалов, ν — экспериментальная частота, P — распределение Пуассона с параметром $a=1,68$, Π — распределение Пойя с параметрами $a=1,68$ и $d=0,61$.

Таблица 2

Результаты сопоставлений экспериментальных и теоретических (P, Π) распределений для сильных землетрясений Тавро-Кавказа с периодами наблюдений $T=1932-1981$ гг., $T=1907-1981$ гг., $T=1882-1981$ гг., $T=1682-1981$ гг.

Основные данные						Распределение Пуассона			Распределение Пойя		
N	M	T	Δt	a	d	r	$\chi^2_{\text{наб}}$	$\chi^2_{\text{кр}}$	r	$\chi^2_{\text{наб}}$	$\chi^2_{\text{кр}}$
1	5-5,4	50	1	2,32	0,73	4	11,9	9,5	3	7,22	7,8
2	5-5,4	75	1	2,09	0,73	4	12,7	9,5	3	5,20	7,8
3	5-5,4	75	0,5	1,05	0,39	3	16,1	7,8	2	2,68	6,0
4	5-5,4	100	1	1,99	0,72	4	17,5	9,5	3	5,49	7,8
5	5,5-5,9	100	1	0,60	0,63	2	13,9	6,0	1	1,98	3,8
6	5	50	1	3,52	1,40	2	6,1	6,0	1	0,23	3,7
7	5	75	1	3,36	0,96	5	15,9	11,1	4	2,49	9,5
8	5	75	0,5	1,68	0,61	4	17,6	9,5	3	2,04	7,8
9	5	100	0,5	1,56	0,88	4	18,1	9,5	3	5,90	7,8
10	5	100	1	3,11	1,26	5	20,1	11,1	4	0,67	9,5
11	5,5	100	1	1,11	0,48	3	11,0	7,8	2	1,55	6,0
12	6	300	5	0,93	0,68	2	11,8	6,0	1	2,19	3,8

где N — нумерация рассматриваемых совокупностей землетрясений, M — магнитула, T — период наблюдений, Δt — единица времени, a, d — вышеупомянутые параметры распределений Пуассона и Пойя, r — число степеней свободы соответствующих статистических таблиц.

Для всех 12-ти случаев гипотеза проверялась с помощью критерия χ^2 Пирсона при 5%-ном уровне значимости. Как видно из приведенных результатов (рис. 1, табл. 2), гипотеза о следовании экспериментальных частот землетрясений закону Пуассона опровергается, а — распределению Пойя для всех рассматриваемых случаев принимается. Иными словами, сильные землетрясения Тавро-Кавказского региона по разным периодам наблюдений следуют распределению Пойя, что и указывает на наличие связи между этими сейсмическими событиями. Надо отметить, что второй параметр d (коэффициент связи) распределения Пойя для всех рассматриваемых совокупностей землетрясений имеет положительное значение. Следовательно, связь между этими землетрясениями носит стимулирующий (положительная связь), а не препятствующий (отрицательная связь) характер [2,4].

Связь между землетрясениями по Ватанабе. Суть метода Ватанабе [2,4] заключается в анализе промежутков времени между моментами возникновения землетрясений с помощью формулы

$$\mu(t) = \frac{p(x, y)}{p(x)}, \quad (3)$$

взятой из более общего соотношения

$$k(t) = \frac{p(x, y)}{p(x)p(y)}, \quad (4)$$

где $p(x)$ — вероятность того, что после землетрясения за время t не происходит второе, $p(y)$ — вероятность возникновения землетрясения за малый промежуток времени Δt , $p(x, y)$ — произведение этих двух событий. При независимости землетрясений $p(x, y) = p(x)p(y)$. Поэтому (4) принимает вид $k(t)=1$, а (3) — $\mu(t)=p(y)$. Последнее

показывают среднее число землетрясений, приходящееся на единицу времени. На рис. 2 этот случай (независимости землетрясений) выражен пунктирными линиями. При наличии связи между событиями, $\mu(t)$ является функцией t .

Таблица 3
Значения кривой $\mu(t)$ для трех последовательностей землетрясений

Тавро-Кавказ 1881—1980 гг. $M \geq 5,5$			Тавро-Кавказ 1667—1980 гг. $M \geq 6$			АрмССР и прилегающие районы 1975—1982 гг. $K \geq 11,5$					
t	$\mu_{0,2}$	$\mu_{0,3}$	$\mu_{0,5}$	t	$\mu_{0,2}$	$\mu_{0,3}$	$\mu_{0,5}$	t	μ_5	μ_{10}	μ_{15}
0,001	0,24	0,32	0,45	0,1	0,02	0,07	0,12	1	0,33	0,40	0,49
0,01	0,23	0,29	0,43	0,3	0,07	0,11	0,13	9	0,11	0,22	0,22
0,1	0,20	0,28	0,47	0,8	0,08	0,12	0,24	17	0,19	0,13	0,22
0,2	0,19	0,28	0,42	1,0	0,09	0,18	0,22	25	0,05	0,20	0,25
0,3	0,20	0,35	0,36	1,2	0,12	0,15	0,29	33	0,17	0,17	0,22
0,4	0,27	0,27	0,38	1,5	0,19	0,19	0,28	41	0,07	0,13	0,13
0,5	0,19	0,21	0,36	2,0	0,07	0,07	0,07	49	0,07	0,07	0,29
0,6	0,05	0,16	0,29	2,5	0,04	0,08	0,12	57	0,15	0,23	0,23
0,7	0,14	0,21	0,35	3,0	0,05	0,05	0,09	65	0,01	0,10	0,10
0,8	0,19	0,26	0,40	3,9	0,21	0,21	0,26	73	0,10	0,10	0,10
0,9	0,16	0,24	0,40	4,5	0,20	0,20	0,20				
1,0	0,18	0,26	0,41	10,3	0,25	0,25	0,25				
1,1	0,19	0,29	0,42								
1,2	0,21	0,29	0,46								
1,3	0,20	0,28	0,48								
1,4	0,18	0,32	0,54								
1,5	0,25	0,35	0,50								
1,6	0,28	0,44	0,50								
1,7	0,33	0,33	0,50								
1,8	0,23	0,31	0,31								
2,6	0,22	0,22	0,33								
3,7	0,33	0,50	0,50								

В табл. 3 приведены ординаты функции $\mu(t)$ для трех совокупностей землетрясений, при расчете которых были использованы соответствующие вариационные ряды промежутков времени между последовательными землетрясениями. На рис. 2а представлена кривая $\mu(t)$ для землетрясений с энергетическим классом $K \geq 11,5$, наблюдающихся на территории, ограниченной географическими координатами $[(41^\circ,5; 42^\circ,5), (41^\circ,5; 45^\circ,0), (40^\circ,7; 46^\circ,7), (38^\circ,5; 46^\circ,7), (38^\circ,5; 43^\circ,5), (40^\circ,2; 42^\circ,5)]$ за период 1975—1982 гг. Следует отметить, что рассматриваемый район включает АрмССР в целом и некоторые прилегающие районы. Для всех трех случаев ($\Delta t = 5, 10, 15$ суток) поведение кривой $\mu(t)$ почти одинаково. Явно выделяются максимумы при малых значениях t . Значительный перевес маленьких промежутков времени объясняется наличием повторных толчков. С увеличением интервала времени Δt , максимумы кривой $\mu(t)$ закономерно перемещаются в сторону оси ординат. Вероятность возникновения землетрясений увеличивается при $t \approx 25-30$ суток и особенно $t \approx 50-57$ суток. Однако, надо отметить, что средний интервал времени между моментами возникновения землетрясений $\Delta t = 40,2$ суток, т. е. поток этих землетрясений носит явно непериодичный характер.

На рис. 2б, приведены аналогичные кривые землетрясений Тавро-Кавказа с магнитудой $M \geq 5$ для случаев $\Delta t = 0,2; 0,3; 0,5$ лет. Если учесть, что период наблюдений $T = 100$ лет, то вопрос о «малости» Δt решается сам по себе. При всех трех случаях четко выделяются два максимума, которые не соответствуют среднему значению $\Delta t = 0,89$ лет. Следовательно, и в этом случае «периодичность» землетрясений в той или иной мере не отмечается. Колебательный характер этих кривых явно указывает на наличие связи между землетрясениями.

Кривые $\mu(t)$ землетрясений Тавро-Кавказа с магнитудой $M \geq 6$

приведены на рис. 2, в и рассчитаны для $\Delta t = 0,2; 0,3; 0,5$ лет. Следует отметить, что в этом случае поведение кривой $\mu(t)$ значительно отличается от первых двух случаев. Для малых значений t характерным является подъемный, а не спусковой вид кривой. И это не случайно. Нами произведено группирование землетрясений согласно методике, приведенной в работе [4]. Устранение повторных толчков приводит к резкому уменьшению числа маленьких промежутков времени, что и объясняет такое поведение кривой $\mu(t)$ при малых значениях t . Вероятность возникновения землетрясений минимальна при значениях $t \approx 2-3$ года. И в этом случае поток сильных землетрясений не близок к регулярному, т. е. в регионе не отмечается «склонность» сильных землетрясений к периодичности.

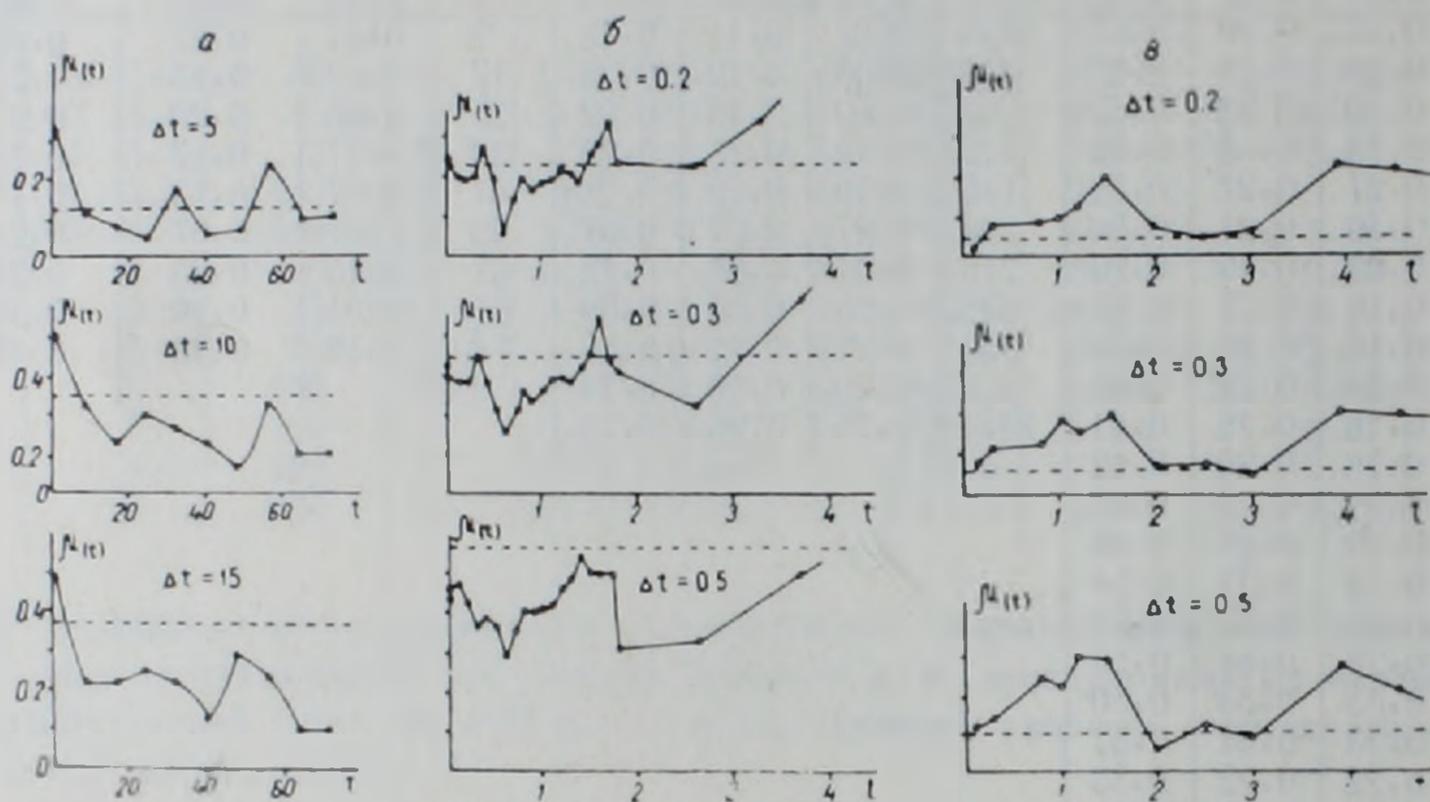


Рис. 2. а. Кривая $\mu(t)$ для землетрясений с энергетическим классом $K \geq 11,5$ при $\Delta t = 5, 10, 15$ суткам (АрмССР и прилегающие районы, $T = 1975-1982$ гг.). б. Кривая $\mu(t)$ для землетрясений с магнитудой $M \geq 5,5$ при $\Delta t = 0,2; 0,3; 0,5$ лет (Тавро-Кавказ, $T = 1881-1980$ гг.). в. Кривая $\mu(t)$ для землетрясений с магнитудой $M \geq 6$ при $\Delta t = 0,2; 0,3; 0,5$ лет (Тавро-Кавказ, $1667-1980$ гг.).

Как известно, после группирования землетрясений выделенная совокупность основных землетрясений принимается в качестве потока простейших событий [4,5]. Но из рис. 2, в ясно видно, что это далеко не всегда так. Явное расхождение между пунктирными линиями (процесс Пуассона) и кривыми $\mu(t)$ показывает как раз наоборот. И это не случайно. Известная методика группирования землетрясений, в которой строго учитываются размеры очагов землетрясений, расстояние между эпицентрами и время между событиями, вовсе не учитывает такую форму связи, как проникновение сейсмических волн, излучаемых очагом a_1 , в область очагов будущих землетрясений a_2, a_3, \dots, a_n , которые находятся в той или иной фазе подготовки. Или связь между такими землетрясениями, очаги которых приурочены к одному и тому же разлому, но расстояние между ними не удовлетворяет вышеупомянутой методике. Приведем такой пример. По методике группирования, связь между землетрясениями (21/XI—1905 г., 0:11—01—26, $\varphi = 43^\circ,3; \lambda = 41^\circ,7; M \sim 6$) и (21/XI—1905 г., 0:11—02—00, $\varphi = 42^\circ,0; \lambda = 39^\circ,5; M \sim 6$), которые произошли с разницей на 34 с, исключается при любой форме очага, поскольку расстояние между ними доходит до 230 км. Тем не менее простой расчет показывает, что 34 с как раз то время, в течение которого продольные волны, излучаемые первым очагом, проникают в очаг второго, являясь таким образом непосредственным возбудителем этого землетрясения, именно в этот момент времени. Как видно из приведенного примера, несмотря на кратковременность связи, она весьма результативна и носит чисто

механический характер. Фактически эта связь непосредственно влияет на временной ход сейсмичности. И вообще при изучении связи между землетрясениями

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots, a_m \quad (5)$$

которые произошли на территории (S) за время T надо учитывать, что на очаг землетрясения a_1 за время его подготовки действуют некоторые члены из последовательности (5) и наоборот. Суммарный эффект такого взаимодействия может служить мерой степени связи между a_1 и последовательностью (5). Как показывают полученные результаты для рассматриваемых совокупностей сильных землетрясений, эта мера значительна и полностью отражается в статистическом анализе поставленной задачи.

Характер связи между сильными землетрясениями. Большой интерес представляет собой подход к изучению вопроса связи между землетрясениями, выдвинутый А. А. Ляпуновым и С. М. Фандюшиной [2, 4]. Принимая моменты возникновения землетрясений в наблюдаемом районе как случайные события, ими выдвигаются три возможные гипотезы.

1. Землетрясение a_1 , которое произошло в промежутке времени Δt_1 , стимулирует появление землетрясения в последующем промежутке времени Δt_2 (положительная связь).

2. a_1 препятствует возникновению землетрясения в промежутке времени Δt_2 (отрицательная связь).

3. Землетрясение a_1 не оказывает никакого влияния (отсутствие связи между событиями).

Проверяется третья гипотеза, причем рассматриваемая совокупность землетрясений представляется в качестве потока простейших событий (в этом случае промежуток времени Δt_i между моментами возникновения землетрясений распределяется по показательному закону). Сопоставляется теоретическое распределение $y=x$ с эмпирическим распределением $y=s(x)/n$ (суть этих распределений отчетливо видна из табл. 4). Если при малых значениях x график функции $y=s(x)/n$ окажется выше, чем график $y=x$ и далее в основном продолжается

Таблица 4

Распределение промежутков времени между сильными землетрясениями

$\Delta t_i/\Delta t$	Тавро-Кавказ 1881—1980 гг. $M > 5,5$				Тавро-Кавказ 1667—1980 гг. $M > 6$			АрмССР и прилегающие районы 1975—1982 гг. $K \geq 11,5$		
	f_i	Δt_i	s_i	y_i	Δt_i	s_i	y_i	Δt_i	s_i	y_i
0,001	0,001	0,001	14	0,126	0,005	2	0,033	0,040	10	0,152
0,005	0,005	0,004	16	0,144	0,026	2	0,033	0,201	15	0,227
0,01	0,009	0,009	16	0,144	0,052	3	0,050	0,402	20	0,303
0,05	0,048	0,044	22	0,198	0,261	5	0,083	2,010	29	0,439
0,10	0,095	0,089	27	0,243	0,521	9	0,150	4,020	32	0,485
0,25	0,221	0,222	39	0,351	1,300	23	0,383	10,05	39	0,591
0,50	0,393	0,445	52	0,468	2,600	36	0,600	20,10	45	0,682
0,75	0,527	0,667	67	0,604	3,910	41	0,883	30,15	47	0,712
1,0	0,632	0,890	73	0,658	5,210	49	0,817	40,20	51	0,773
1,5	0,776	1,335	86	0,775	7,810	51	0,850	60,30	54	0,818
2,0	0,864	1,780	96	0,865	10,42	54	0,900	80,40	57	0,864
2,5	0,917	2,225	102	0,919	13,02	55	0,917	100,5	57	0,864
3,0	0,950	2,670	103	0,928	15,63	55	0,917	120,6	57	0,864
3,5	0,969	3,115	105	0,946	18,23	55	0,917	140,7	60	0,909
4,0	0,981	3,560	105	0,946	20,84	56	0,933	160,8	61	0,924
4,5	0,988	4,005	108	0,973	23,44	57	0,950	180,9	61	0,924
5,0	0,993	4,45	108	0,973	26,05	57	0,950	201,0	62	0,939
8,0	0,999	7,120	110	0,991	41,68	59	0,983	321,6	65	0,985

$\Delta t = 0,89$ лет

$\Delta t = 5,21$ лет

$\Delta t = 40,2$ суток

эта тенденция, то принимается первая гипотеза. В обратном случае предпочтение отдадут второй гипотезе. А если колебание функции $y = s(x)/n$ вдоль линии $y = x$ незначительно, то более вероятна третья гипотеза.

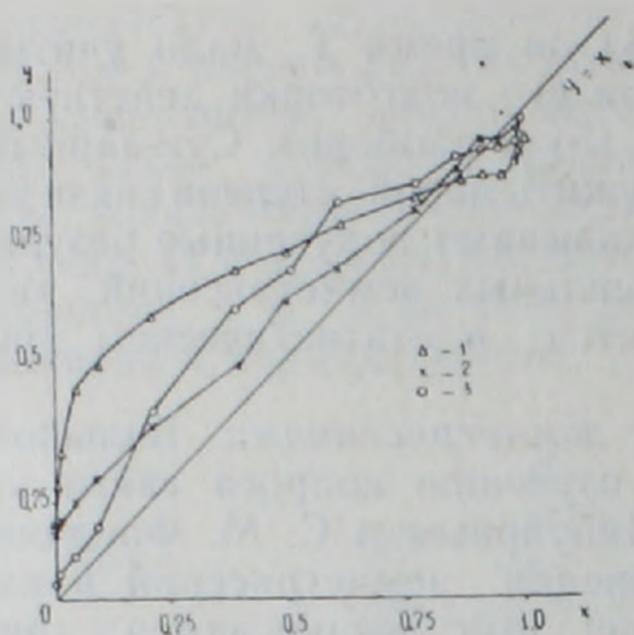


Рис. 3. Проверка гипотезы о показательном распределении промежутков времени между моментами возникновения землетрясений. $y = x$ — случай показательного распределения. 1. АрмССР и прилегающие районы, $T = 1975-1982$ гг., $K \geq 11,5$. 2. Тавро-Кавказ, $T = 1881-1980$ гг., $M \geq 5,5$. 3. Тавро-Кавказ, $T = 1667-1980$ гг., $M \geq 6$.

В табл. 4 приведены значения функций $y = s(x)/n$ для трех совокупностей землетрясений, при расчете которых были использованы соответствующие вариационные ряды промежутков времени между моментами возникновения землетрясений. Произведен переход от $\Delta t_i / \bar{\Delta t}$ к f_i (где Δt_i — промежуток времени между соседними землетрясениями, а $\bar{\Delta t}$ его среднее значение для исследуемой совокупности землетрясений), $f_i = 1 - e^{-\Delta t_i / \bar{\Delta t}}$, $s(x)$ — показывает число случаев $f_i < x$, $y_i = s_i/n$, где n — объем выборки. Как показывают приведенные результаты (табл. 4, рис. 3), для всех трех рассматриваемых случаев третья гипотеза опровергается и предпочтение дается первой, т. е.

и в локальном районе (АрмССР и прилегающие районы), и в регионе в целом между сильными землетрясениями наблюдается положительная связь. Статистический анализ промежутков времени Δt_i между последовательными землетрясениями отчетливо подтверждает те данные, которые были получены в первых двух разделах статьи, т. е. применение трех разных методов математической статистики в отношении одной и той же задачи приводит к единому ответу. Таким образом, статистический подход к изучению вопроса связи между сильными землетрясениями Тавро-Кавказа позволяет заключить:

1. Между крупными сейсмическими событиями существует определенная связь, которая по своему характеру положительна. Закономерный характер этого явления в данном регионе особенно подкрепляется данными длительных наблюдений (100—300 лет).

2. В регионе не отмечается «склонность» сильных землетрясений к периодичности.

3. Полученные результаты показывают, что последовательности сильных землетрясений Тавро-Кавказа за рассматриваемые периоды времени не являются потоками простейших событий, а наоборот, каждый из них представляет собой систему причинно связанных событий.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР

Поступила 9.VII.1981

ՏԱՎՐՈՍ-ԿՈՎԿԱՍՅԱՆ ՄԱՐԶԻ ՈՒՃԵՂ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՄԻՋԵՎ ԵՂԱՆ ԿԱՊԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. ս. մ.

Հոդվածում քննարկված են Տավրոս-Կովկասյան մարզի մի շարք ուժեղ երկրաշարժերի համախմբերի ժամանակային կապի հարցերը: Ցույց է տրրված երկրաշարժերի փորձարարական հաճախականությունների՝ Պուասսոնի օրենքից շեղվելու ոչ-պատահական բնույթը: Մաթեմատիկական վիճակագրության մեթոդներով մանրամասնորեն վերլուծված են երկրաշարժերի առաջացման պահերի միջև եղած ժամանակային միջակայքերը, որի հիման վրա ցույց է տրված, որ երկրաշարժերի առաջացման պահերը պատահական չեն և նրանց միջև դրական բնույթի կապ գոյություն ունի:

Yu. R. BAGHDASARIAN

CONNECTION BETWEEN THE TAURUS-CAUCASUS REGION
STRONG EARTHQUAKES

A b s t r a c t

A number of strong earthquakes totalities in the Taurus-Caucasus region are considered from the point of view of temporal connection. It is shown the non-casual character of the earthquakes experimental frequencies declination from the Poisson's law. By the methods of mathematical statistics the time intervals between earthquakes beginning moments are in detail analysed, which show those moments to be not casual and a presence of some of positive relation between them.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бюс Е. И., Цхакая А. Д., Рубинштейн М. М. Грузия.—В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 242—252.
2. Гайский В. И. О подобии совокупностей землетрясений, связи между ними и «склонности» к периодичности.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1967, № 7, с. 20—28.
3. Гайский В. И., Икчурина С. Ш., Рябчук Т. М. О статистической квази-однородности сейсмического поля и связи между землетрясениями.—В кн.: Сейсмический режим Таджикистана. Душанбе: 1967, с. 27—34.
4. Гайский В. И. Статистические исследования сейсмического режима М.: Наука, 1970, с. 25—56.
5. Джибладзе Э. А. Энергия землетрясений, сейсмический режим и сеймотектонические движения Кавказа. Тбилиси: Изд. Мецниереба, 1980, с. 89—126.
6. Джибладзе Э. А., Натенадзе Э. Н. Сейсмический режим Кавказа за 1962—1978 гг. Сейсмический бюллетень Кавказа, 1978. Тбилиси: Мецниереба, 1981, с. 214—224.
7. Карапетян Н. К., Мкртчян С. С., Паффенгольц К. Н. Армения.—В кн.: Сейсмическое районирование СССР, М.: Наука, 1968, с. 214—226.
8. Карапетян Б. К., Карапетян Н. К. Предпосылки прогнозирования землетрясений и сейсмостойкое строительство в Армянской ССР. Ереван: Изд. Айастан, 1981, с. 60—85.
9. Кириллова И. В., Люстих Е. Н., Растворова В. А., Сорский А. А., Хаин В. Е. Анализ геотектонического развития и сейсмичности Кавказа. М.: Изд. АН СССР, 1960, с. 207—318.
10. Кулиев Ф. Т., Рагимов Ш. С., Ахмедбейли Ф. С., Султанови З. З. Азербайджан.—В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 227—241.
11. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977.
12. Сейсмический бюллетень Кавказа, 1973—1979. Тбилиси: Изд. Мецниереба,
13. Папалашвили В. Г. Развитие сети сейсмических станций на Кавказе и некоторые вопросы обобщения наблюдательного материала. Сейсмологический бюллетень Кавказа, 1978. Тбилиси: Изд. Мецниереба, 1981, с. 244—272.