

**СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ОЦЕНКАМИ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КОПЕТДАГА
ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ**

Н.В. Петрова

Институт сейсмологии АН Туркменистана, г. Ашхабад, nata4646@mail.ru

Практическая необходимость. При решении ряда сейсмологических задач возникает проблема оценки величины всех землетрясений с помощью единой унифицированной шкалы. Этой проблемой занимались многие сейсмологи, начиная с Гуттенберга и Рихтера [1], однако до сих пор такая шкала не найдена. Само существование различных магнитудных (энергетических) шкал связано с использованием разных типов волн и приборов, с различиями волновой картины на разных расстояниях от очага и с множеством других региональных и локальных факторов, влияющих на оценку величины землетрясения. Со временем, по мере оснащения регионов широкополосными цифровыми сейсмическими станциями, вопрос единой классификации слабых и сильных землетрясений, возможно, будет решен путем перехода к массовым определениям сейсмических моментов и сейсмической энергии землетрясений на спектральной основе. Однако необходимость использования сейсмологического материала за длительный период инструментальных наблюдений, когда каталоги землетрясений на территории бывшего СССР формировались по данным аппаратуры типа ВЭГИК, СКМ, СК, СКД, будет по-прежнему требовать использования магнитудных (энергетических) шкал.

Самой распространенной оценкой величины землетрясений на территории бывшего СССР является шкала Т.Г. Раутиан для определения энергетического класса K_p [2]. Она реализует корректное определение величины землетрясений в диапазоне $K_p = \lg E = 3-14$. Для классификации более сильных землетрясений используются магнитудные шкалы, среди которых самой надежной и распространенной считалась до недавних пор магнитуда MLH , определяемая по горизонтальным составляющим поверхностных волн на записях средне- и длиннопериодными приборами. В работе [3] методом ортогональной регрессии было установлено соотношение между магнитудой MLH и энергетическим классом K_p землетрясений Копетдагского региона:

$$K_p = 1.46 MLH + 5.6. \quad (1)$$

Соотношение (1) получено с коэффициентом корреляции $r=0.91$ на основе анализа магнитуд и энергетических классов 153 землетрясений Копетдага за 1962–1989 гг. Параметр K_p в уравнении (1) является средним по сети станций Туркменистана энергетическим классом, определяемым для каждого землетрясения по методике [2] путем осреднения станционных энергетических классов. В качестве магнитуды в соотношении (1) использовалась магнитуда MLH из сборников «Землетрясения в СССР» [4] и бюллетеней ЕССН за соответствующие годы. При составлении последней Карты общего сейсмического районирования Туркменистана [5] магнитуда MLH использовалась в качестве унифицированной характеристики величины землетрясений Копетдага. При этом для многочисленных слабых землетрясений, для которых отсутствовало прямое определение MLH , магнитуда рассчитывалась согласно региональному соотношению (1).

С начала 90-х годов, когда в Сейсмологических бюллетенях [6] и в сборниках «Землетрясения Северной Евразии» [7] вместо магнитуд по горизонтальным составляющим поверхностных волн MLH начали публиковаться магнитуды MS по вертикальной составляющей волн Релея, стало заметно систематическое занижение для землетрясений Копетдага магнитуд MS , по сравнению с MLH , полученными из соотношения (1). Это противоречило выводу [8] о практическом равенстве магнитуд MLH и MLV в диапазоне $M=4-8$, с учетом, что MS – другое обозначение магнитуды MLV . В связи с этим возникла необходимость установления соотношений $K_p(MS)$ и $MLH(MS)$ для землетрясений Копетдага.

Другой побудительной причиной для проведения данной работы явились расширяющиеся за счет использования Интернета возможности пополнения и корректировки региональных каталогов землетрясений Копетдага данными других сейсмологических центров. Так, с 2003 г. в рутинной практике используются знаки первых вступлений на сейсмических станциях из бюллетеней Международного Сейсмологического Центра (ISC) [9] совместно с данными сейсмической службы Туркменистана (ССТМ) для определения механизмов очагов землетрясений Копетдага [10, 11], а в 2004 г. параметры сейсмических событий из бюллетеня ISC использовались для уточнения положения афтершоков землетрясения 28 мая в 12^h38^m с $M_S=6.1$ [12], произошедшего на западной границе Эльбурского района в районе № 2 на рис. 1. Сопоставление показало, что в выборке землетрясений Копетдагского региона из бюллетеней ISC [9] за 2004 г. (табл. 1) имеется шесть сейсмических событий, не зарегистрированных сейсмическими станциями Туркменистана (рис. 1). В табл. 1 соответствующие им строки выделены серым фоном. С другой стороны, в этой выборке отсутствуют, по сравнению с каталогом ССТМ [13], 197 землетрясений Копетдага, включая 40 землетрясений с $K_p=10$ и два – с $K_p=11$ (табл. 2).

Таблица 1. Сопоставление параметров землетрясений Копетдага за 2004 г. из каталога ССТМ [14] с данными международных агентств ISC [9] и MOS [6]

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр				h , км		K_p	Магнитуды				
			φ° , N		λ° , E		ССТМ	ISC		ССТМ	MOS	MOS	ISC	ISC
			ССТМ	ISC	ССТМ	ISC								
1	12.01	16 18 41	37.24	37.29	58.14	58.28	8	33	10.3				3.7/3	
2	14.01	18 35 02	40.76	41.04	51.56	51.47	29	33	10.0	4.8/3		3.8/4	3.4/6	
3	19.02	10 07 51	39.77	40.00	54.98	54.78	40	39	10.9	4.9/9		4.8/16	4.5/52	4.1/7
4	25.02	04 16 33	36.54	36.59	58.80	59.16	26	15	11.4	5.3/12		4.6/19	4.3/33	3.7/6
5	07.03	03 57 03	39.38	39.50	54.74	54.78	21	12	10.7	4.9/12		4.1/8	4.0	3.6/3
6	07.03	22 17 59	36.82	37.10	54.96	54.90	33	33	11.8	5.1/11		5.0/4	4.3/37	3.8/10
7	24.03	00 08 25	40.65	41.18	51.85	52.86	37	10	9.6				3.5/6	
8	24.03	02 39 19	36.70	36.89	54.56	55.07	45	33	11.5	5.2/10		4.5/21	4.3/68	3.8/2
9	27.03	01 31 23	36.97	36.92	55.00	55.15	43	10	11.6	5.5/10			4.1/21	3.5/2
10	28.03	13 30 18	39.83	39.79	54.17	54.15	37	5	11.8	5.2/12			4.5/61	3.8/6
11	10.04	21 36 00	40.76	41.73	52.64	51.40	41	33	9.5			4.0/1	3.6/11	
12	13.04	01 44 26	36.68	36.83	55.44	55.73	15	35	10.9	4.8/14		4.6/1	4.0/21	3.0/2
13	14.04	05 27 01	39.67	39.82	52.57	52.50	60	41	10.4	4.8/6		4.1/7	3.7/12	
14	18.04	19 40 59	39.90	40.45	63.10	63.20		5	10.7	5.2/6		4.1/1	3.8/12	
15	08.05	03 24 13	40.24	40.52	63.20	63.30	42	4	10.9	5.2/13		4.3/12	4.2/27	3.0/2
16	19.05	00 47 17	39.98	40.09	53.37	53.31	44	50	10.1	4.7/9		4.1/3	3.7/5	
17	26.05	14 00 14		36.54		64.85						4.1/1	3.4/5	
18	28.05	12 38 41	36.62	36.32	51.12	51.59	61	17	14.0	7.3/14	6.1/38	6.2/52	6.2/303	6.3/175
19	28.05	13 07 08	36.62	36.42	51.51	51.72	60	10	10.3	4.8/4			3.8/14	
20	28.05	13 15 09	36.78	36.45	51.51	51.51	61	21	11.0	5.4/8		4.6/10	4.4/36	4.8/3
21	28.05	13 35 55	36.97	36.46	51.11	51.58	60	3	10.3	5.0/7		4.1/8	3.9/19	
22	28.05	13 28 41		36.36		51.74		10					3.3/3	
23	28.05	17 34 55	37.09	36.56	51.39	51.08	61	13	9.5				3.7/7	4.0/2
24	28.05	19 46 59	36.72	36.49	50.89	51.34	60	21	11.1	5.7/15		4.6/15	4.5/59	4.1/20
25	28.05	20 32 54		36.57		51.15		10					3.4/3	
26	29.05	04 12 37	36.93	36.44	51.95	51.69	30	10	9.6				3.6/12	
27	29.05	04 52 54	36.36	36.51	51.15	51.42	60	19	9.3				3.4/7	
28	29.05	09 23 40	36.47	36.54	50.65	51.39	61	12	12.3	5.6/8	4.4/16	4.6/17	4.8/82	4.6/49
29	29.05	11 01 23	36.59	36.53	50.60	51.41	60	10	10.6	4.6/4		4.1/9	4.0/21	3.8/7
30	29.05	15 41 02	36.58	36.55	51.23	51.43	60	10	9.5				3.5/5	
31	29.05	16 58 50	36.49	36.63	50.55	51.02	61	14	9.4				3.4/5	
32	29.05	18 38 05	36.96	36.52	50.76	51.36	60	11	10.6	4.5/4		4.4/15	4.3/45	3.9/14
33	29.05	18 42 39	36.82	36.49	50.63	51.43	60	12	9.7				3.7/4	
34	29.05	22 55 16	36.96	36.54	50.74	51.42	60	10	10.7	4.6/4			3.8/18	
35	30.05	01 42 36	36.73	36.48	51.11	51.56	60	26	10.8	5.2/5		4.3/11	4.2/58	3.7/7
36	30.05	13 09 50	36.86	36.56	50.89	51.40	56	10	10.4	4.8/12		3.9/6	4.1/21	3.7/10
37	30.05	19 26 59	36.71	36.46	51.27	51.56	59	10	11.2	5.3/14		4.4/14	4.4/77	3.7/13
38	31.05	22 05 32	36.89	36.56	51.03	51.31	60	10	9.6				3.4/3	
39	04.06	15 15 37	40.13	40.17	52.00	52.16	60	33	10.5	5.2/5		4.1/3	3.7/6	

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ОЦЕНКАМИ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КОПЕТДАГА
ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ Н.В. Петрова

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр				h , км		K_p	Магнитуды					
			φ°, N		λ°, E		CCTM	ISC		CCTM	MOS	MOS	m_b/n	ISC	ISC
			CCTM	ISC	CCTM	ISC									
40	04.06	20 37 11	36.37	36.14	52.77	53.6	45	2	11.1	5.0/4		4.2/3	4.1/19	2.9/1	
41	07.06	04 01 20	36.60	36.52	52.10	51.38		14	10.1	5.0/1		4.5/3	4.0/22	3.4/2	
42	12.06	06 43 39		36.47		51.15		10						3.1/3	
43	12.06	21 30 59		36.51		51.54		10						3.3/3	
44	11.07	01 17 55	39.67	40.07	54.29	54.08	39		10.0	4.6/10		3.7/5	3.5/8	3.6/1	
45	11.07	13 16 47		36.53		51.62		33						3.4/4	
46	12.07	04 43 56	37.56	37.3	54.28	54.27	33	28	10.1	4.2/8		3.9/4	3.7/8		
47	14.07	14 36 02	34.80	35.01	61.80	61.89		15	11.2	5.2/11		4.4/14	4.4/41	3.6/8	
48	14.07	20 40 04	34.90	35.04	61.80	61.74		10	10.2	4.8/5			3.8/6	3.0/1	
49	21.07	10 36 58	40.12	40.82	53.45	52.99	16	33	9.6			4.0/6	3.7/6	3.8/1	
50	06.08	22 17 11	39.70	40.31	54.04	54.2	41	33	10.4	4.6/7		3.8/3	3.6/6		
51	08.08	16 04 49	40.40	40.72	63.45	63.63		15	11.9	5.5/4		4.6/15	4.3/35	3.1/3	
52	21.08	03 32 39	37.85	37.90	57.47	57.63	19	10	12.9	6.2/5		4.7/16	4.7/70	4.1/21	
53	31.08	17 20 23	38.04	38.11	66.32	66.45	5	14	10.3	5.1/4		4.3/9	4.0/14	3.6/1	
54	16.09	18 45 10	37.01	37.16	56.46	56.60	27	51	10.5	4.7/14			3.4/4		
55	19.09	21 42 57	35.40	35.63	60.30	60.48		10	10.9	4.8/16			3.6/4		
56	24.09	01 42 53	35.80	35.59	52.80	52.30	72	15	10.5	4.7/7		4.1/5	3.8/10	3.3/8	
57	07.10	21 46 19	37.47	37.17	54.49	54.43	17	32	13.2	6.0/9	5.1/37	5.8/45	5.6/246	5.3/178	
58	07.10	23 02 52	37.49	37.29	54.37	54.41	7	34	10.1	4.9/3			3.9/10		
59	07.10	23 21 06	37.30	37.30	54.49	54.57	30	14	9.7				4.0/10		
60	08.10	01 49 22	37.62	37.23	54.31	54.59	14	12	9.9			4.0/8	3.7/11		
61	08.10	13 45 51	37.50	37.18	54.37	54.36	8	31	11.5	5.2/9		4.5/15	4.6/53	3.7/5	
62	12.10	00 55 04	40.82	41.35	51.96	51.94	61	23	9.6				3.3/3		
63	01.11	20 20 13	37.30	37.14	55.43	55.83	33	33	10.7	5.1/3		4.0/5	4.1/16	4.1/20	
64	06.11	23 06 20	40.00	40.42	62.80	63.15	31	33	10.5	4.8/5		4.2/5	4.0/11		
65	26.11	01 40 20	37.44	37.36	56.92	57.11	11	1	10.4	4.6/4			4.3/8		
66	01.12	01 13 12	39.07	39.37	53.81	53.88	22	9	11.1	4.9/3		4.8/15	4.5/66	3.6/9	
67	06.12	19 19 26	40.28	40.64	52.17	52.00	28	46	9.7			4.2/7	3.8/14		
68	12.12	11 20 04	35.60	35.93	57.50	57.88		25	11.3	5.2/5		4.5/12	3.6/5		
69	17.12	20 08 04	36.28	36.33	58.02	58.17	13	12	11.0	5.1/3		4.1/1	4.3/12		

Таблица 2. Сопоставление числа землетрясений Копетдагского региона в 2004 г. в каталоге CCTM [13] и в бюллетене ISC [9]

K_p	9	10	11	12	13	14	Итого
В каталоге CCTM	160	68	24	5	2	1	260
В бюллетене ISC	10	29	22	5	2	1	69
Совпадающих	5	28	22	5	2	1	63
Нет в каталоге CCTM	5*	1*					6
Нет в бюллетене ISC	155	40	2				197

Примечание. * – переход от магнитуды m_b к энергетическому классу осуществлен согласно установленному далее в статье соотношению (9).

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что пять из шести отсутствующих в каталоге CCTM сейсмических событий локализованы на юго-западе региона и являются афтершоками землетрясения 28 мая в 12^h38^m с $MS=6.1$ [12], а эпицентр шестого находится вблизи афганского г. Шеберган. Эпицентры всех указанных землетрясений лежат на или за пределами изолинии представительности регистрации землетрясений сейсмическими станциями Туркменистана с $K_{\min}=9.0$, на расстояниях $\Delta \geq 200$ км от ближайшей станции. Разница в расстояниях между эпицентрами, по данным CCTM и ISC, незначительная в центральной части региона, увеличивается на его границах из-за одностороннего расположения станций CCTM по отношению к эпицентрам. Видимо, по этой же причине, а также из-за недостаточного учета особенностей скоростного строения земной коры на территории Южно-Каспийского бассейна происходит завышение глубин землетрясений по данным CCTM в очаговой зоне уже упомянутого землетрясения 28 мая с $MS=6.1$ (рис. 1).

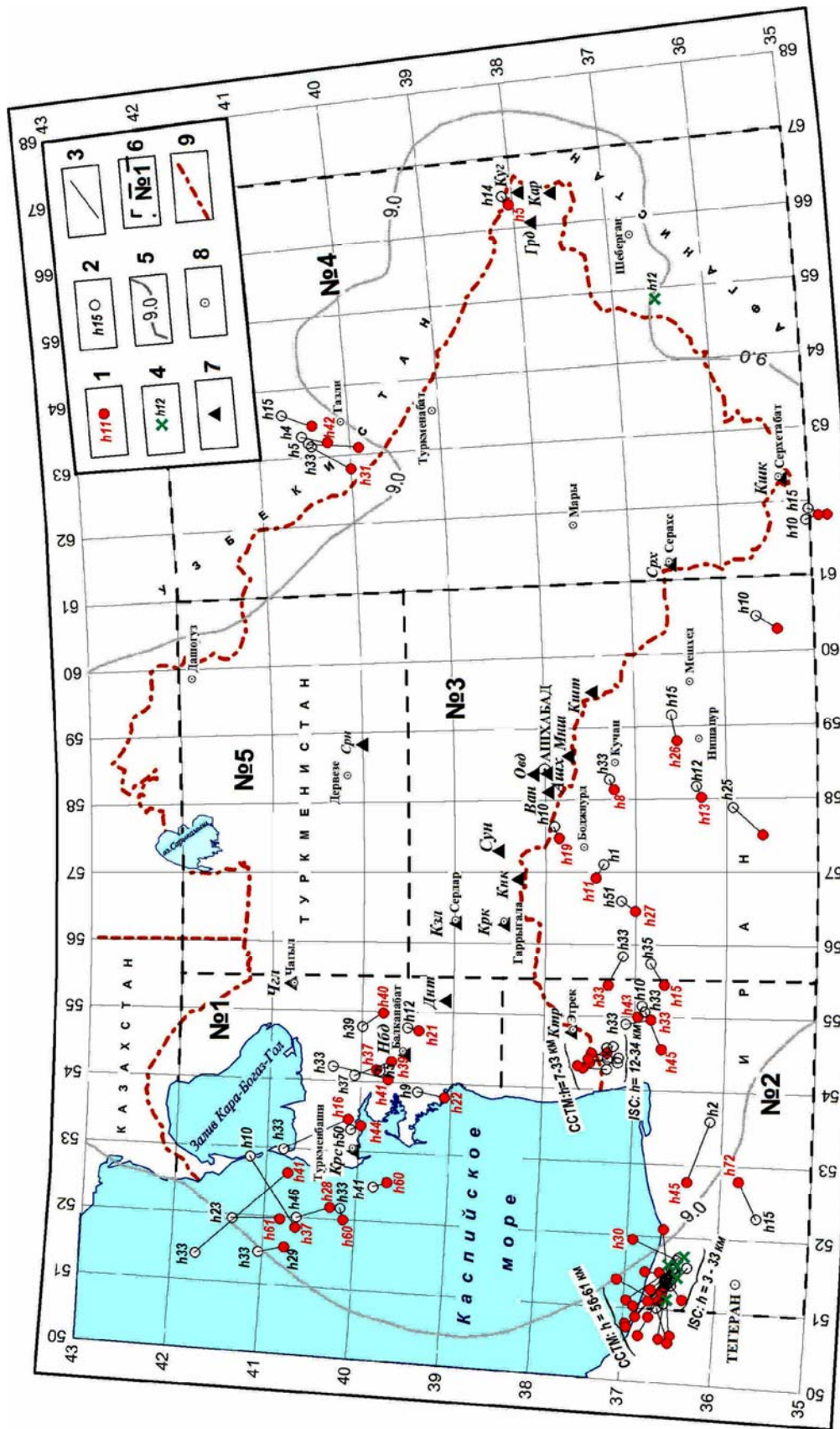


Рис. 1. Сопоставление координат эпицентров и глубин землетрясений Копетдага за 2004 г. по данным сейсмической службы Туркменистана (ССТМ) [13] с кинематическими параметрами этих же землетрясений из бюллетеней ISC [9]

1 – эпицентр с указанием h (км) по данным ССТМ; 2 – то же по данным ISC; 3 – расстояние между эпицентрами ССТМ и ISC; 4 – эпицентры землетрясений из бюллетеня ISC, не зарегистрированные ССТМ; 5 – изолиния $K_{min}=9.0$; 6 – граница и номер сейсмоактивного района; 7 – сейсмическая станция ССТМ; 8 – город; 9 – государственная граница.

Для включения в каталоги землетрясений Копетдага недостающих сейсмических событий из бюллетеней ISC [9] или MOS [6] и их дальнейшего использования в сейсмологических исследованиях требуется перевести магнитуды этих землетрясений в указанных источниках в параметр K_p , являющийся основной оценкой величины землетрясений Копетдага по данным ССТМ. Установлению переходных соотношений между K_p и приведенными в бюллетенях ISC и MOS магнитудами посвящена следующая часть данной статьи.

Исходные данные. В каталогах землетрясений Копетдага, публикуемых в сборниках «Землетрясения в СССР» за 1962–1991 гг. и «Землетрясения Северной Евразии» с 1992 г., приводятся магнитуды $MPSP$ из Сейсмологических бюллетеней MOS [6], определяемые по волне PV на записях короткопериодной аппаратурой в дальней ($\Delta > 2000$ км) зоне, и магнитуды MS по волне LV на записях средне- и длиннопериодной аппаратурой. С 1996 г. приводятся магнитуды m_b и M_s по волнам PV и LV соответственно из бюллетеней ISC [9]. Региональными оценками величины землетрясений являются энергетический класс K_p [2] и магнитуда $MPVA$, определяемая, согласно методике [14], по вертикальной составляющей колебаний в P -волне на записях короткопериодными приборами станций ССТМ в ближней ($\Delta < 500$ км) зоне. Они публикуются в этих сборниках с 1962 и с 1992 гг. соответственно.

В данной статье для установления переходных соотношений были использованы следующие параметры и источники:

– региональные параметры K_p и $MPVA$ из каталогов землетрясений Копетдага за 1992–2004 гг., опубликованных в сборниках «Землетрясения Северной Евразии» [7], а за период с 2005 по февраль 2007 г. – из компьютерных каталогов НИИ сейсмологии Туркменистана;

– параметры $MPSP$ и MS из сборников «Землетрясения Северной Евразии» за 1992–2002 гг. [7] и Сейсмологического бюллетеня MOS [6];

– параметры m_b и M_s из бюллетеней ISC с 1992 г. по февраль 2007 г. [9].

В подробной работе, проведенной ранее на материале 1962–1989 гг. [3], методом ортогональной регрессии установлены, помимо (1), соотношения (2–5):

$$K_p = 2.05 MPV(A) + 2.2, \quad (2)$$

$$N = 109, r = 0.81,$$

где $MPV(A)$ – магнитуда по волне PV на записях короткопериодной аппаратурой в дальней ($\Delta > 2000$ км) зоне из бюллетеней ЕССН и сб. «Землетрясения в СССР» [4], идентичная магнитуде $MPSP$ в [6];

N – число использованных землетрясений;

r – коэффициент корреляции.

$$K_p = 2.2 MPVA + 0.77, \quad (3)$$

$$N = 98, r = 0.72,$$

где $MPVA$ – магнитуда по волне PV на записях короткопериодной аппаратурой сейсмических станций Туркменистана в ближней ($\Delta < 500$ км) зоне. Соотношение (3) установлено вскоре после публикации методической статьи [14] на небольшом ($N = 98$) экспериментальном материале, поэтому коэффициент корреляции низкий ($r = 0.72$).

$$MPV(A) = 0.78 MLH + 1.3, \quad (4)$$

$$N = 70, r = 0.86,$$

где $MPV(A)$ и MLH – вышеупомянутые магнитуды из бюллетеней ЕССН и сб. «Землетрясения в СССР».

$$MLH = 1.09 M_s - 0.6, \quad (5)$$

$$N = 29, r = 0.96,$$

где M_s – магнитуда по поверхностным волнам из международных сейсмологических бюллетеней ISC, BCIS, NEIC, USCGS.

В настоящей статье для установления новых соотношений типа $K_p(M)$ был выбран период с 1992 г., когда начались массовые публикации магнитуд MS и $MPSP$ в региональных каталогах сборников «Землетрясения Северной Евразии». Кроме того, с этого года число сейсмических станций Туркменистана почти не менялось, а значит, и средний энергетический класс по сети станций Туркменистана K_p оставался стабильным. Для установления всех соотношений использовался метод ортогональной регрессии.

К сожалению, для исследования функции типа $K_p=f(MS)$ по территории Копетдагского региона удалось собрать только 73 пары параллельных определений этих параметров: магнитуды MS публикуются гораздо реже, чем, например, Ms , m_b или $MPSP$. Полученное корреляционное соотношение (рис. 2 а) имеет вид:

$$K_p = 1.47 MS + 5.96, \quad (6)$$

$$N = 73, \quad r = 0.81.$$

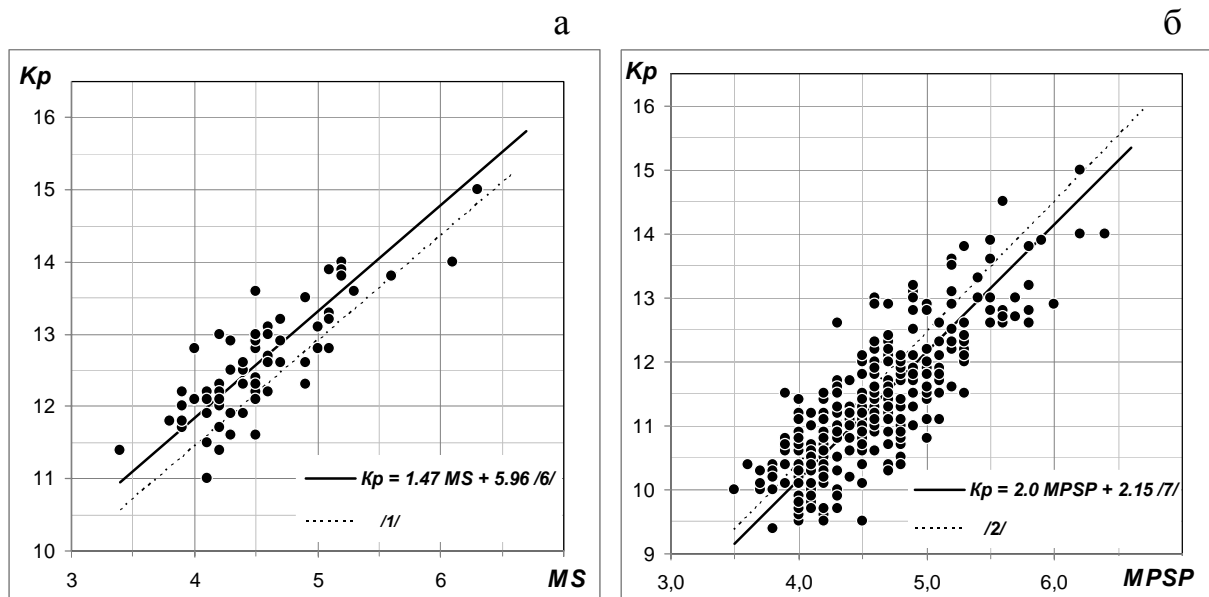


Рис. 2. Соотношения между энергетическим классом K_p землетрясений Копетдага, по данным ССТМ, и магнитудами MS (а) и $MPSP$ (б), по данным MOS, в сравнении с полученными в [3] линейными зависимостями (1) и (2), нанесенных пунктиром

Как видно из сопоставления зависимостей $K_p(MS)$ и $K_p(MLH)$ на рис. 2 а, наклон у них почти одинаков (1.47 и 1.46), однако постоянные члены различны (5.96 и 5.6). Поэтому, согласно соотношению (6), при равных магнитудах энергетический класс на $0.4K_p$ выше, по сравнению с (1). Кроме того, в диапазоне $MLH=3.0 \div 8.0$ магнитуда MS при равных энергетических классах на $0.28M$ ниже, чем MLH . Эта разница превышает среднюю ошибку ΔM определения магнитуды, равную $\Delta M = \pm 0.25$, и не может быть связана с понижением среднего по сети станций Туркменистана энергетического класса за период 1992–2007 гг., по сравнению с предыдущим, – этому противоречат данные рис. 2 б, на котором представлены исходные параметры $K_p(MPSP)$ за 1992–2007 гг. и аппроксимирующая их линейная зависимость:

$$K_p = 2.0 MPSP + 2.15, \quad (7)$$

$$N = 310, \quad r = 0.81.$$

Поскольку при численно равных магнитудах $MPV(A)$ и $MPSP$ энергетический класс K_p выше в среднем на $0.3K_p$, согласно зависимости (7), по сравнению с (2), установленной между идентичными параметрами K_p и $MPV(A)$ на материале до 1989 г. включительно [3], нельзя говорить о повышении среднего по сети станций ССТМ энергетического класса за период 1992–2007 гг. Средняя разница $\Delta M = MPSP - MPV(A)$ составляет $0.16M$, что меньше ошибки определе-

ния магнитуды. Коэффициенты корреляции у (2) и (7) оказались одинаковыми при втрое большем числе данных (310 и 109), использованных для установления соотношения (7).

Сопоставление в [3] на небольшом числе магнитуд M_s и MLH показало их хорошее согласие. Разница M_s-MLH , согласно соотношению (5), уменьшается от 0.3 при $M_s=3.3$ до 0 при $M_s=6.7$. Установив на большем числе данных ССТМ и ISC за 1992–2007 гг. соотношение (8) между K_p и M_s (рис. 3 а) и сравнив его с соотношением (1) между K_p и MLH , получаем косвенное подтверждение незначительной разницы между магнитудами M_s и MLH . Однако коэффициент корреляции у зависимости $K_p(M_s)$ невелик из-за большого разброса данных.

$$K_p=1.46 M_s+5.8, \quad (8)$$

$$N=209, r=0.75.$$

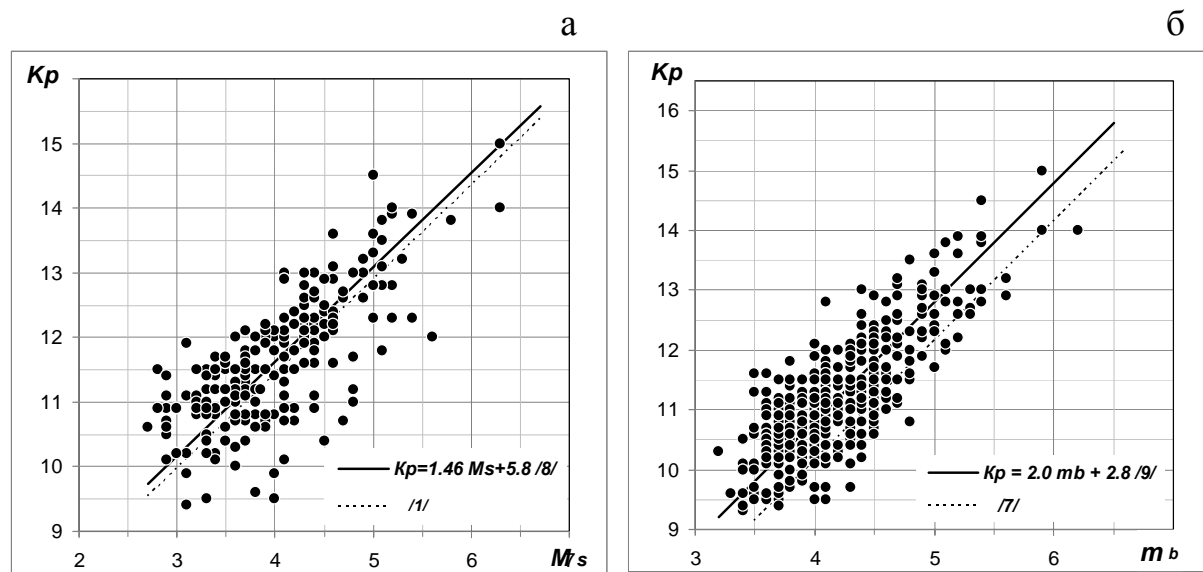


Рис. 3. Взаимосвязь энергетического класса K_p по данным ССТМ с магнитудами M_s (а) и m_b (б) по данным ISC (пунктиром показаны линейные зависимости (1) и (7))

Самой массовой оценкой величины землетрясений в бюллетенях ISC является магнитуда m_b по записям волн PV короткопериодными приборами. Соотношение между m_b ISC и энергетическим классом K_p ССТМ (рис. 3 б) получено на основе анализа параметров 419 землетрясений Копетдага за 1992–2007 гг. Методом ортогональной регрессии установлено следующее соотношение:

$$K_p=2.0 m_b+2.8, \quad (9)$$

$$N=419, r=0.80.$$

Его сопоставление с уравнением (7) показало, что при одинаковом наклоне графиков (7) и (9) магнитуды $MPSP$ на 0.33 выше, чем m_b . Эта разница может быть связана с тем, что магнитуда m_b определяется по более узкополосным приборам, по сравнению с амплитудно-частотной характеристикой приборов СКМ-3, которыми оснащено большинство сейсмических станций ГС РАН. Возможно также, что магнитуды m_b измеряются на более коротком участке записи после вступления P -волн. Именно этот фактор авторы [15] считали решающим при объяснении занижения магнитуд m_{pv} по короткопериодным приборам типа Беньоффа, которыми были оснащены станции американской сейсмологической службы NEIC, по сравнению с аналогичными магнитудами по короткопериодной аппаратуре типа СКМ-3 ЕССН. В той же работе доказано, что разницы между магнитудами m_b , по данным NEIC и ISC (Международный сейсмологический центр, Ньюбери), практически не существует. Отметим более высокий коэффициент корреляции зависимости (9), по сравнению с (8), что делает ее более надежной.

В заключение приведем уравнение связи между региональными характеристиками K_p и $MPVA$ (рис. 4), полученное на основе корреляционного анализа данных с 1992 г. по февраль 2007 г.:

$$K_p = 1.74 MPVA + 2.36, \quad (10)$$

$$N=927, r=0.91.$$

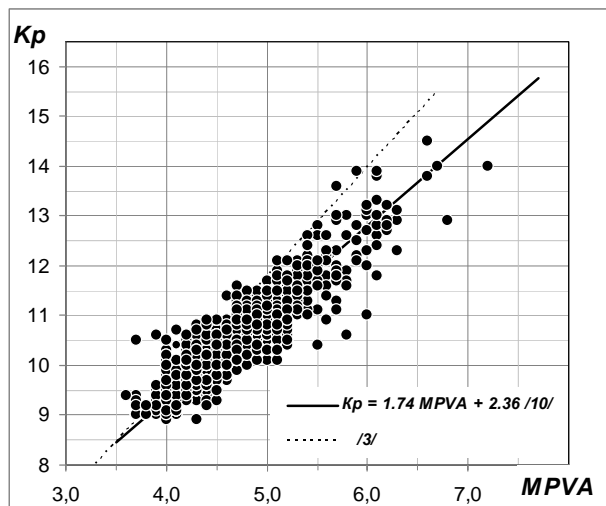


Рис. 4. Соотношения между энергетическим классом K_p и магнитудой $MPVA$ по волне PV на записях короткопериодной аппаратурой ССТМ в ближней ($\Delta < 500$ км): зоне: (10) – за 1992–2007 гг., (3) – за 1981–1989 гг.

Соотношение (10) установлено с самым высоким коэффициентом корреляции и с использованием самого большого числа данных, по сравнению с приведенными выше зависимостями. По сравнению с аналогичным соотношением (3), полученным нами ранее на материале 1981–1989 гг. [3], наклон прямой $K_p=f(MPVA)$ заметно уменьшился (1.74 вместо 2.2). Причина пока не ясна, однако для установления соотношения (10) использовано в 10 раз больше данных (927 вместо 98), чем для (3), при существенно повысившемся коэффициенте корреляции (0.91 вместо 0.72), что делает его более надежным. Следует отметить, что региональная магнитуда $MPVA$ значительно превышает магнитуду $MPSP$ (MOS), которая определяется по тем же типам волн и приборов, но в дальней зоне. Разница $\Delta M = MPVA - MPSP$ возрастает по мере перехода от сла-

бых к сильным землетрясениям: при $MPSP=3.0$ – $\Delta M=0.33$, а при $MPSP=7.7$ – $\Delta M=1.0$.

Подводя итоги, можно для оценки классов K_p землетрясений Копетдага, включенных в каталоги ISC, рекомендовать переходное соотношение (9)

$$K_p = 2.0 m_b + 2.8,$$

как более надежное с точки зрения коэффициента корреляции, числа использованных данных и массовости определений магнитуд m_b .

Переход к классам K_p из магнитуд MOS (MS , $MPSP$) в Сейсмологическом бюллетене можно осуществлять для землетрясений Копетдага с помощью соотношений (6) и (7)

$$K_p = 1.47 MS + 5.96,$$

$$K_p = 2.0 MPSP + 2.15$$

при одинаковых коэффициентах корреляции ($r=0.81$).

При решении сейсмологических задач, связанных с необходимостью унифицированной оценки магнитуд слабых и сильных землетрясений с использованием соотношений типа $K_p=f(MLH)$ и $K_p=f(MS)$ надо помнить о времени перехода от магнитуды MLH к MS (а также разнице между ними $\Delta M \approx 0.3$ для землетрясений Копетдага), который был осуществлен в «Сейсмологическом бюллетене» MOS в начале 90-х годов.

Л и т е р а т у р а

1. Gutenberg B., Richter C.F. Magnitude and energy of earthquakes // Ann. Geofisica. – N 9. – 1956.
2. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.

3. **Петрова Н.В., Рахимов А.Р.** Соотношения между магнитудными шкалами и энергетическими характеристиками землетрясений Копетдагского региона // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХ и ГН. – 1992. – № 5. – С. 60–67.
4. **Копетдаг** // Землетрясения в СССР в 1962–1989 гг. – М.: Наука, 19... (См. раздел «Каталоги землетрясений»).
5. **Гаипов Б.Н., Воронцова Э.С., Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Петрова Н.В., Рахимов А.В., Абасеев С.С.** Национальная карта сейсмического районирования Туркменистана. М: 1:2500000. (Пояснительная записка). – Ашхабад, 1999. –35 с.
6. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный)** за 1992–2006 гг. – Обнинск: ГС РАН.
7. **Землетрясения Северной Евразии** в 1992–2002 гг. –Обнинск: ГС РАН. – 1997–2008.
8. **Горбунова И.В., Захарова А.И., Чепкунас Л.С.** Магнитуды MLH и MLV // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, МСССС, 1974. – С. 87–93.
9. **Bulletin of the International Seismological Centre** for 1992–2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk>.
10. **Петрова Н.В., Петров В.А., Безменова Л.В. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2003 год // Землетрясения Северной Евразии за 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. (На CD).
11. **Безменова Л.В., Петров В.А., Петрова Н.В. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. **Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Безменова Л.В., Сарыева Г.Ч.** Копетдаг. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
13. **Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Мамедязова М.Т., Халлаева А.Т., Коржукова Т.А., Дурасова И.А., Клычева Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С.** Каталог землетрясений Копетдага за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
14. **Рахимов А.Р., Соловьёва О.Н., Арбузова Г.Н.** Определение магнитуды землетрясений Туркмении на эпицентральных расстояниях до 400 км // Известия АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1983. – № 5. – С. 61–66.
15. **Кондорская Н.В., Горбунова И.В., Ландырева Н.С.** Магнитуды m_{pv} и M_{LN} по данным ЕССН (СССР), НОС (США) и МСЦ (Эдинбург) // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, т. I. – М.: ИФЗ АН СССР, МСССС, 1974. – С. 135–144.