

## КОПЕТДАГ

*Н.В. Петрова<sup>1</sup>, Т.А. Аннаорова<sup>2</sup>, Л.В. Безменова<sup>2</sup>, Г.Ч. Сарыева<sup>3</sup>, М.М. Чарыев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, *npetrova@gsras.ru*

<sup>2</sup>Институт сейсмологии АН Туркменистана, г. Ашхабад, *tm.seismology@online.tm*

<sup>3</sup>Государственная сейсмологическая служба АН Туркменистана, г. Ашхабад, *gssturkm2010@mail.ru*

В 2006 г. сеть стационарных сейсмических наблюдений на территории Туркменистана состояла из 22 станций, из них 20 аналоговых и 2 цифровых: «Геокча» системы IRIS и «Гермаб» типа «Дельта-Геон». На лучшей из аналоговых станций – «Ванновской» – увеличение комплекта СКМ-3 еще во второй половине 2005 г. было понижено с 70000 до 50000, т.к. из-за близкого строительства возрос уровень помех (табл. 1). Этот факт не учитывался при оценке представительности землетрясений Копетдага в 2005 г. Кроме того, в пунктах Ховдан, Бахарлы и Касамлы в начале 2006 г. были установлены три автономные цифровые станции типа «Дельта-Геон» («Гаудан», «Бахарлы», «Маныш») (табл. 1, 2). В качестве датчиков на этих станциях использовались сейсмоприемники СК-1П, имеющие столообразную характеристику коэффициента чувствительности в интервале 0.3–0.8 с. Регистрация с частотой дискретизации 31.25 Гц велась на сменную флэш-карту с объемом недельной записи 220 Мбт.

**Таблица 1.** Сейсмические станции Туркменистана (в хронологии их открытия), действовавшие в 2006 г., и параметры аппаратуры

№	Станция		Дата открытия	Координаты		$h_y$ , м	Аппаратура				
	Название, (нас. пункт)	Код межд. рег.		$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		Тип прибора	Комп-нента	$V_{\max}$	$\Delta T_{\max}$ , с	
1	Ашхабад (г. Ашгабат)	ASH	Ашх	16.02.1947	37.96	58.37	305	СКМ-3	N	6000	0.19–1.36
									E	6000	0.14–1.35
									Z	6000	0.23–1.22
								СК	N	1000	0.30–9.45
									E	1000	0.28–9.6
									Z	1000	0.33–8.2
								С-5-С	N, E, Z	100	0.20–3.2
									ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с
	Z	0.1 с	0.01–4.5								
ССРЗ-М	N, E, Z	0.0019 с <sup>2</sup>	0.05								
2	Кизыл-Арват (г. Сердар)	КАТ	Кат	01.01.1950	38.97	56.28	110	ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
									Z	0.1 с	0.01–4.5
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.0021 с <sup>2</sup>	0.05
3	Ванновская (г. Арчабил)	VAN	Ван	07.07.1952	37.95	58.11	580	СКМ-3	N	50000	0.24–1.39
									E	50000	0.18–1.61
									Z	50000	0.20–1.63
								С-5-С	N	1000	0.18–3.12
									Z	950	0.16–3.81
									E	1000	0.20–2.1
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
									Z	0.1 с	0.01–4.5
ССРЗ-М	N, E, Z	0.0021 с <sup>2</sup>	0.05								
4	Красноводск (г. Туркменбаши)	KRF	Крс	31.03.1966	40.04	53.00	10	СКМ-3	N, E	30000	0.14–0.81
									Z	30000	0.17–0.81
								СК	N, Z	1000	0.20–9.8
									E	100	0.24–10.37
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5

№	Станция			Дата открытия	Координаты		$h_y$ , м	Аппаратура			
	Название, (нас. пункт)	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		Тип прибора	Комп-нента	$V_{max}$	$\Delta T_{max}$ , с
межд.		рег.									
5	Небит-Даг (г. Балканабат)	NBD	Нбд	12.02.1966	39.51	54.39	15	ССРЗ-М	Z	0.1 с	0.01–4.5
									N, E, Z	0.0019 с <sup>2</sup>	0.05
								СКМ-3	N	5070	0.13–1.2
									E	4610	0.14–1.3
									Z	5880	0.13–1.22
								СКД	N	1000	0.3–9.45
									E	1000	0.28–9.6
	Z	1000	0.33–8.2								
	ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5							
		Z	0.1 с	0.01–4.5							
	ССРЗ-М	N, E, Z	0.002 с <sup>2</sup>	0.05							
6	Кизыл-Атрек (пос. Этрек)	GZLA	Ктр	10.10.1968	37.68	54.77	55	СМ-3	N	5000	0.25–1.25
									E, Z	5000	0.2–1.2
								СКД	N	1000	0.28–18.3
									E	1000	0.61–18.61
									Z	1000	0.35–17.6
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
	Z	0.1 с	0.01–4.5								
7	Кара-Кала (пос. Магтымгулы)	GARG	Крк	26.03.1971	38.44	56.27	315	СКМ-3	N	4770	0.25–1.3
									E	5000	0.25–1.2
									Z	5450	0.25–1.2
								СМТР		8.0	
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
	Z	0.1 с	0.01–4.5								
8	Чагыл (с. Чагыл)	CAGT	Чгл	11.11.1972	40.78	55.38	144	СКМ-3	N	40000	0.13–0.79
									E	40000	0.22–0.64
									Z	40000	0.18–0.72
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
	Z	0.1 с	0.01–4.5								
9	Каушут (с. Говшут)	КАН	Кшт	24.06.1977	37.46	59.49	257	ВЭГИК	N	9850	0.24–1.14
									E	9910	0.23–1.35
									Z	10000	0.20–1.30
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
									Z	0.1 с	0.01–4.5
10	Маньш (с. Касамлы)	MNYS	Мнш	04.01.1978	37.72	58.61	680	СКМ-3	N	5870	0.14–1.3
									E	30000	0.17–1.32
									Z	30000	0.22–1.29
			ИСО+С-5-С					N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5	
								Z	0.1 с	0.01–4.5	
								Мн2	01.01.2006		
11	Овадан-Тепе (с. Овадантепе)		Овд	12.04.1978	38.11	58.36	160	СМ-3	N	4700	0.26–1.4
									E	5000	0.19–1.35
									Z	5000	0.27–1.43
								ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
									Z	0.1 с	0.01–4.5
12	Серный (с. Серный завод)		Срн	01.12.1980	39.99	58.83	120	СКМ-3	N	50000	0.19–0.82
									E	50000	0.20–0.98
									Z	54000	0.18–0.76
13	Гермаб (с. Гермап)		Грм	24.05.1980	38.01	57.75	775	ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5
									Z	0.1 с	0.01–4.5
									19.11.2004		
14	Серахс (пос. Серахс)		Срх	01.01.1982	36.53	61.21		СМ-3	N	11000	0.20–1.54
									E	13300	0.20–1.15
									Z	9800	0.11–1.47
								ССРЗ	N, E, Z	0.0021 с <sup>2</sup>	0.05

№	Станция		Дата открытия	Координаты		$h_y$ , м	Аппаратура				
	Название, (нас. пункт)	Код межд. рег.		$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		Тип прибора	Компонента	$V_{max}$	$\Delta T_{max}$ , с	
15	Гаурдак (г. Магданлы)	Грд	01.12.1985	37.80	66.05	460	СМ-3	N	12000	0.10–1.3	
								E	10000	0.16–1.3	
								Z	10000	0.20–1.3	
							ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5	
							Z	0.1 с	0.01–4.5		
16	Кушка (г. Серхетабат)	Кшк	01.01.1986	35.27	62.31	650	СМ-3	N	10000	0.23–0.88	
								Z	10000	0.22–0.88	
								E	10000	0.24–0.87	
							ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5	
							Z	0.1 с	0.01–4.5		
17	Даната (с. Дянеата)	Днт	24.04.1988	39.07	55.17		СКМ-3	N	31000	0.18–0.87	
							СМ-3	E	27000	0.19–0.89	
								Z	28000	0.14–0.88	
							ССРЗ-М	N, E, Z	0.0021 с <sup>2</sup>	0.05	
18	Сунча (с. Сунче)	Сун	01.10.1990	38.50	57.30		СМ-3 КВ	N	8880	0.58–1.43	
							PB3	E	9420	0.76–1.54	
								Z	10000	0.60–1.34	
19	Карлюк (с. Кюнджек)	Кар	20.07.1992	37.56	66.43		СМ-3	N	19000	0.25–1.27	
								E	20000	0.20–1.3	
								Z	20000	0.39–1.21	
							ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5	
							Z	0.1 с	0.01–4.5		
20	Кугитанг (пос. Койтен)	Куг	05.10.1992	37.91	66.48		СМ-3	N	2000	0.17–1.31	
								E	10000	0.19–1.3	
								Z	10000	0.18–1.33	
							ИСО+С-5-С	N, E	0.1 с, 2.5 с	0.01–4.5	
							Z	0.1 с	0.10–4.5		
21	Кёнекесир (с. Кёнекесир)	Кнк	04.09.1995	38.20	56.90		СМ-3+PB3	N	40000	0.20–1.5	
								E	40000	0.50–1.4	
								Z	40000	0.30–1.2	
							ССРЗ-М	N, E, Z	0.002 с <sup>2</sup>	0.05	
22	Геокча (г. Арчабил)	АВКТ	Гкч	20.11.2000	37.93	58.12		цифровая станция IRIS			
23	Гаудан (с. Ховдан)		Гдн	07.2006	37.67	58.35		цифровая станция Дельта-Геон			
24	Бахарлы (пос. Бахарлы)		Бхн	01.01.2006	38.21	57.23		– " –			
25	Маньш (с. Касамлы)		Мн2	01.01.2006	37.72	58.61		– " –			

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых станций в 2006 г.

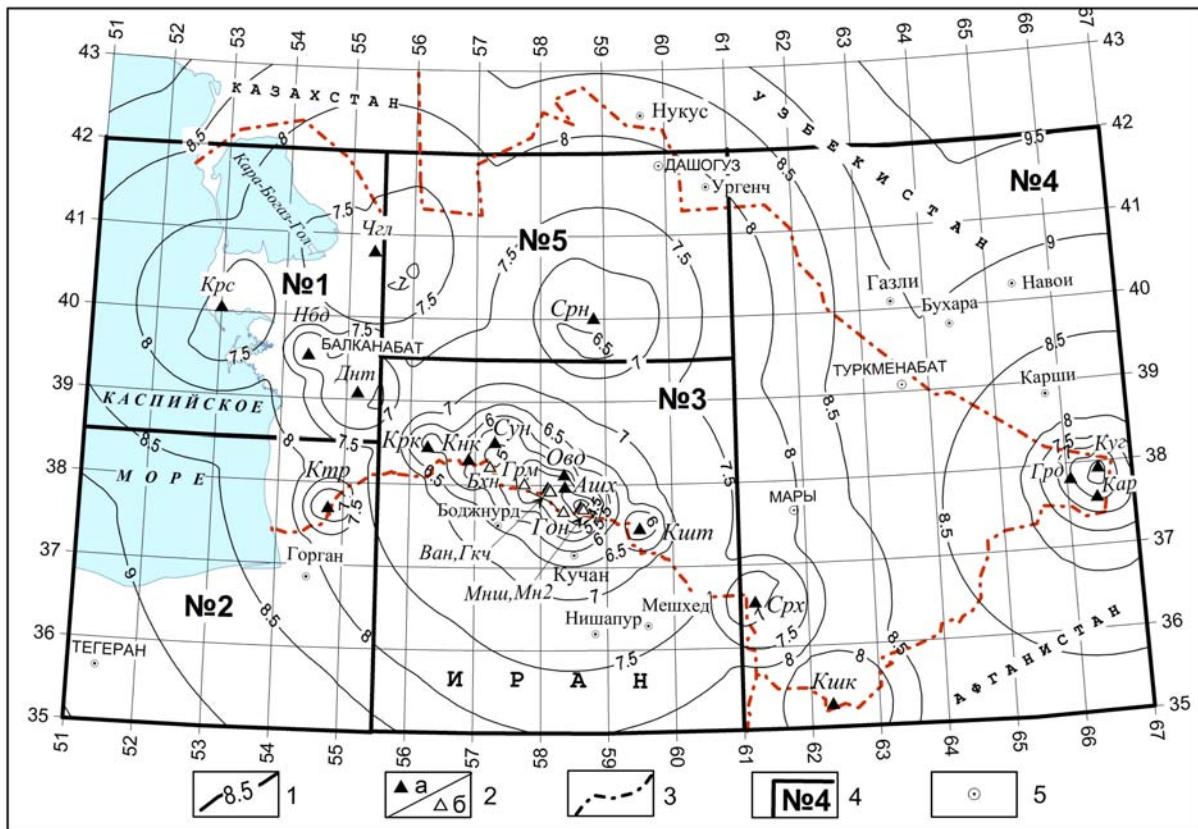
Название станции	Тип датчика	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосигр – отсчет/(м/с)
Геокча	STS-1	BH(N, Z, E) v	0.002–5	20	24	$6.28 \cdot 10^8$
	GS-13	SH(N, Z, E) v	0.5–10	40	24	$6.25 \cdot 10^8$
Гермаб	СК-1П	SH(N, Z, E) v	0.3–0.8	31	24	$1.00 \cdot 10^7$
Гаудан	СК-1П	SH(N, Z, E) v	0.3–0.8	31	24	$1.00 \cdot 10^7$
Бахарлы	СК-1П	SH(N, Z, E) v	0.3–0.8	31	24	$1.00 \cdot 10^7$
Маньш	СК-1П	SH(N, Z, E) v	0.3–0.8	31	24	$1.00 \cdot 10^7$

Для оценки энергетической представительности  $K_{min}$  землетрясений Копетдага были проведены специальные исследования дальности регистрации сейсмических станций. Выяснилось,

что на предельных расстояниях  $R$  регистрации, на которых значения  $K_p(R)$  близки к предельному контуру  $K_{\min}(R)$ , локация землетрясений и определение их энергетических классов осуществляется только по временам пробега и амплитудам  $S$ -волн, т.к. амплитуды  $P$ -волн не различимы на фоне помех. С учетом этого факта разработаны методика и программа расчета  $K_{\min}$  по дальности регистрации  $n$ -м числом станций при условии, что, по крайней мере, одна из них регистрирует  $P$ - и  $S$ -волны, а остальные –  $S$ -волны, амплитуды которых различимы на фоне помех [1]. Рассчитанная с помощью данного подхода карта  $K_{3,\min}$  (рис. 1) лучше согласуется с реальным энергетическим уровнем представительных в 2006 г. землетрясений Копетдага, определенным для отдельных сейсмоактивных районов по «левому загибу» графика повторяемости  $K_{\gamma,\min}$  (табл. 3), чем карта  $K_{3,\min}$ , построенная по методике З.И. Арановича и др. [2, 3], с более жесткими условиями регистрации – все станции должны регистрировать  $P$ -волну, различимую на фоне помех. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 2006 г. дана на рис. 2.

**Таблица 3.** Координаты и площади пяти районов и региона в целом, а также значения в них  $K_{3,\min}$  и  $K_{\gamma,\min}$

№	Район	$\varphi_1^\circ - \varphi_2^\circ, N$	$\lambda_1^\circ - \lambda_2^\circ, E$	$S, 10^3 \text{ км}^2$	$K_{3,\min}$	$K_{\gamma,\min}$
1	Балхано-Каспийский	38.5–42.0	51.0–55.5	149	8–9	8
2	Эльбурский	35.0–38.5	51.0–55.5	156	9–10	9
3	Туркмено-Хорасанский	35.0–39.5	55.5–61.0	243	8	8
4	Восточный Туркменистан	35.0–42.0	61.0–67.0	406	9–10	9
5	Центрально-Каракумский	39.5–42.0	55.5–61.0	130	8–9	8
	Копетдаг	35.0–42.0	51.0–67.0	1082	9–10	9



**Рис. 1.** Карта энергетической представительности  $K_{3,\min}$  землетрясений Копетдага в 2006 г., рассчитанная по дальности регистрации минимум тремя станциями, из которых одна регистрирует  $P$ - и  $S$ -волны, а остальные –  $S$ -волны, амплитуды которых превышают фон помех

1 – изолиния  $K_{3,\min}$ ; 2 – сейсмическая станция, аналоговая (а) и цифровая (б); 3 – государственная граница; 4 – граница и номер сейсмоактивного района; 5 – город.

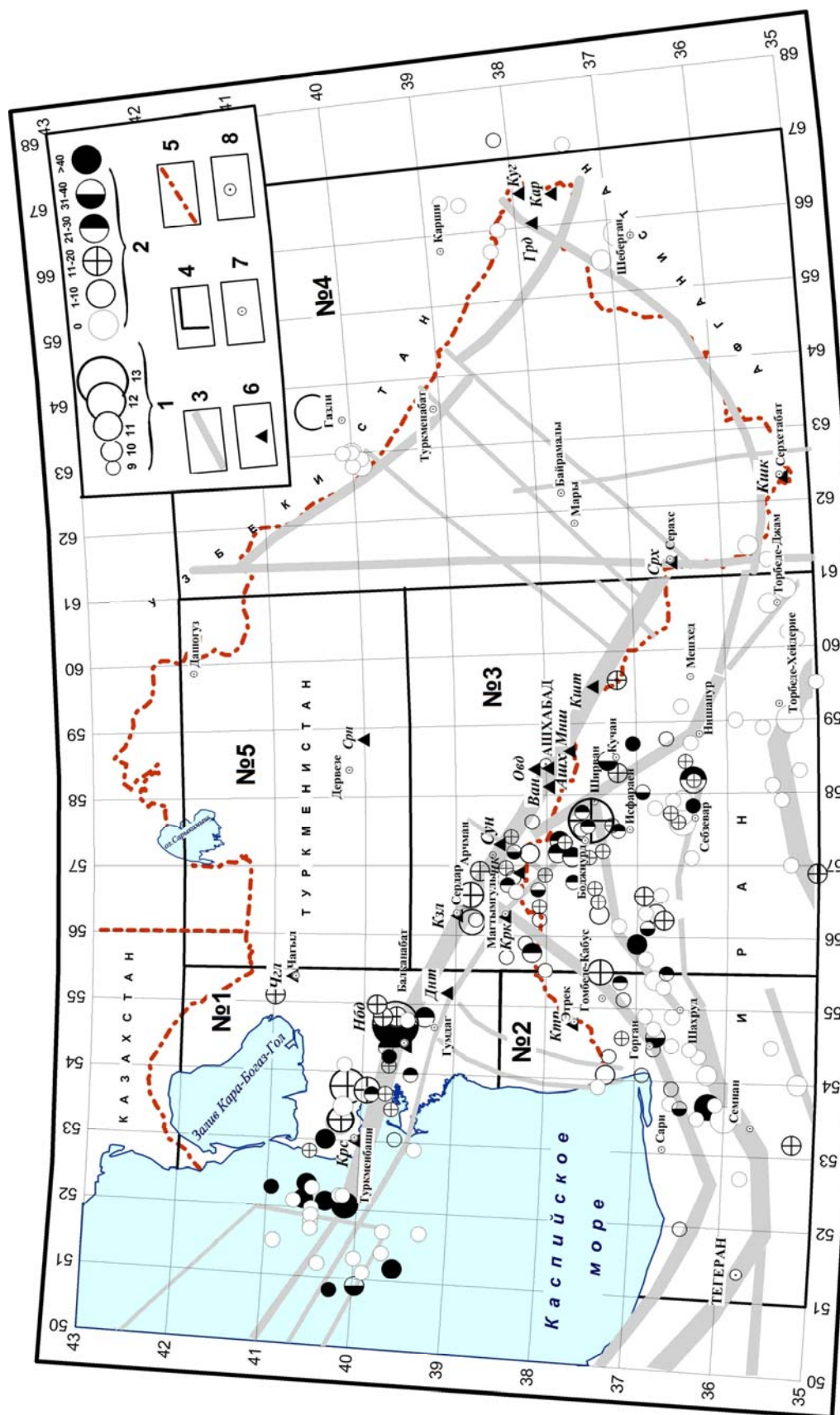


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага с  $K_p \geq 8.6$  за 2006 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км (0 – глубина не определена); 3 – разлом; 4 – граница сейсмоактивного района; 5 – государственная граница; 6 – сейсмическая станция; 7 – город; 8 – столицы Туркменистана и Ирана.

Методика обработки землетрясений Копетдага не изменилась: кинематические параметры определялись на основе региональных блочных годографов [4], энергетический класс  $K_p$  – по палетке Т.Г. Раутиан [5], магнитуды  $MPVA$  – согласно [6], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – на основе регионального уравнения макросейсмического поля [7]:

$$I_i = 1.5M - 3.8 \lg r + 3.5. \quad (1)$$

Правильность и полнота обработки частично контролировались путем сопоставления кинематических и динамических параметров общих землетрясений из регионального каталога [8] и бюллетеней Международного сейсмологического центра ISC [9]. Для перевода в энергетические классы  $K_p$  значений магнитуд  $MS$ ,  $MPSP$  (MOS),  $M_s$ ,  $m_b$  (ISC) и  $M_n$  (ТЕН), публикуемых в [9], использовались соотношения из [10, 11]:

$$K_p = 1.47 MS^{\text{MOS}} + 5.96, \quad (2)$$

$$K_p = 2.0 MPSP^{\text{MOS}} + 2.15, \quad (3)$$

$$K_p = 1.46 M_s^{\text{ISC}} + 5.8, \quad (4)$$

$$K_p = 2.0 m_b^{\text{ISC}} + 2.8, \quad (5)$$

$$K_p = 1.915 M_n^{\text{ТЕН}} + 2.68. \quad (6)$$

В каталоге [8] и на карте эпицентров землетрясений Копетдага (рис. 2) приведены землетрясения ( $N_{\Sigma}=178$ ) с  $K_p \geq 8.6$ , зарегистрированные сейсмическими станциями Туркменистана в 2006 г., включая пять землетрясений из бюллетеня ISC [9], записи которых станциями Туркменистана нельзя было обработать. Расчетные энергетические классы  $K_{\text{расч}}$  для этих землетрясений получены с помощью переходных соотношений (2)–(6).

Механизмы очагов землетрясений Копетдага за 2006 г., определенные по знакам первых вступлений  $P$ -волн на сейсмических станциях Государственной сейсмологической службы АН Туркменистана (ГСС АНТ) и ISC [9], представлены в [12] и на рис. 3.

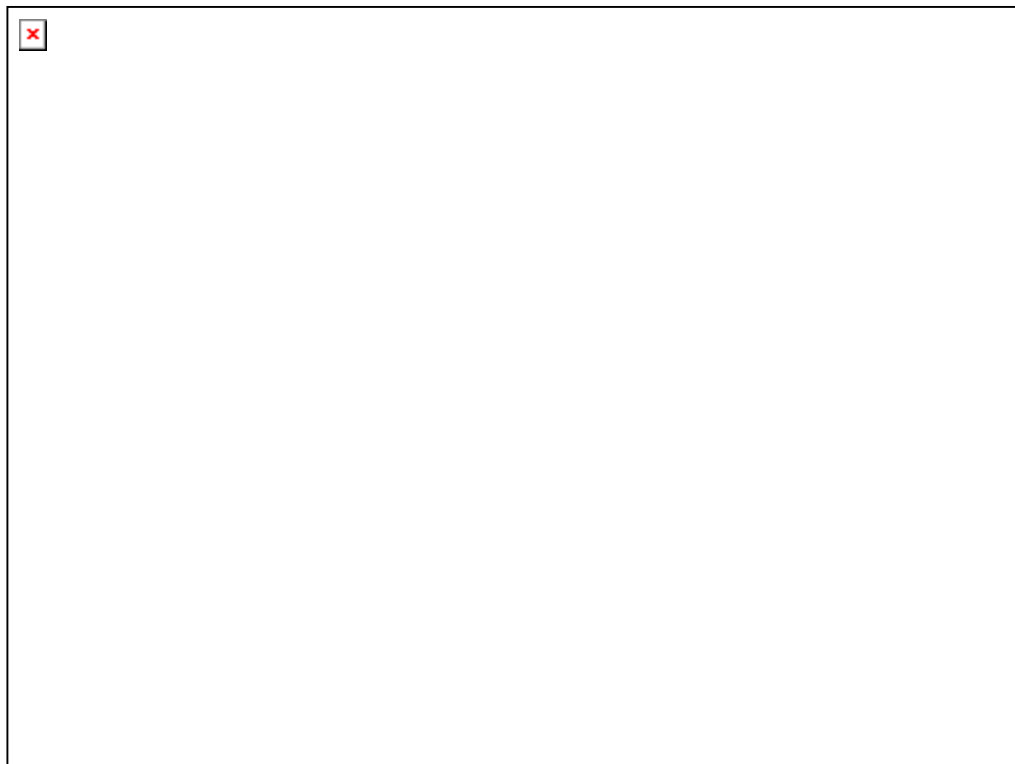


Рис. 3. Стереграммы механизмов очагов землетрясений Копетдага в 2006 г.

1 – стереограмма механизма очага в проекции нижней полусферы, зачернена область сжатия; 2 – решение механизма очага из [9, 12] с указанием агентства; 3 – гипоцентр; 4 – нодальные линии; 5, 6 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; 7 – разлом; 8 – сейсмическая станция; 9 – государственная граница; 10 – город.

В 2006 г., несмотря на понижение уровня суммарной сейсмической энергии, выделившейся на территории Копетдагского региона, до  $\Sigma E=17.8 \cdot 10^{12}$  Дж вместо  $26.9 \cdot 10^{12}$  Дж в 2005 г., число зарегистрированных землетрясений возросло, по сравнению с показателями 2005 г. ( $N=3386$  вместо 2707), причем исключительно за счет слабых ( $K_p \leq 7$ ) толчков (табл. 4). Подобная тенденция, наблюдавшаяся и в 2005 г. [13], связана, по-видимому, с начавшимся в конце 2004 г. внедрением цифровых сейсмических станций типа «Дельта-Геон», понизивших энергетический уровень представительных землетрясений в центральной части региона (рис. 1). Максимальные землетрясения, произошедшие 16 сентября в  $10^{\text{h}}42^{\text{m}}$  с  $K_p=12.6$  и 12 октября в  $17^{\text{h}}08^{\text{m}}$  с  $K_p=13.0$ , приурочены к очаговым зонам двух самых крупных землетрясений за два последних десятилетия – Боджнурдского 04.02.1997 г. с  $MS=6.6$  [14] и Балханского 06.12.2000 г. с  $M_w=7.3$  [15].

**Таблица 4.** Распределение по годам и энергетическим классам  $K_p$  числа землетрясений  $N_{\Sigma}$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  за 1992–2006 гг. в границах Копетдагского региона

Год	$K_p$									$N_{\Sigma}$	$\Sigma E,$ $10^{12}$ Дж
	2–7	8	9	10	11	12	13	14	16		
1992	2048	343	150	42	17	2	4	1		2607	82.8
1993	1922	325	157	55	23	12	1			2495	20.4
1994	1737	333	176	77	16	3	4	1		2348	156.2
1995	1595	228	95	39	11	1	2			1971	12.2
1996	1070	210	98	52	20	3	1			1454	13.4
1997	10050	1170	482	139	57	9	2	1	1	11911	4102.4
1998	1685	363	173	49	10	2	1			2283	15.1
1999	1196	278	161	65	19	11	3	1		1734	73.5
2000	4531	763	304	94	31	6	4	2	1	5739	31796.7
2001	1982	383	158	54	19	2	1	2		2601	408.32
2002	3070	279	143	42	21	5				3560	6.6
2003	1563	297	150	52	22	3	1			2088	18.0
2004	1189	357	159	64	24	6	2	1		1802	132.35
2005	2110	362	169	44	12	5	3			2707	26.9
2006	2893	320	117	40	12	2	2			3386	17.8

В отличие от предыдущих лет, значительная часть выделившейся на территории Копетдагского региона сейсмической энергии приходится на **Балхано-Каспийский район (№ 1)**, где величина высвобожденной сейсмической энергии в 2006 г. составляет  $\Sigma E=10.74 \cdot 10^{12}$  Дж (табл. 5) вместо  $3.33 \cdot 10^{12}$  Дж в 2005 г. [13]. Однако число землетрясений с  $K_p \geq 8$  уменьшилось ( $N_{\Sigma}=157$  вместо 187), т.е. сохранилась тенденция снижения сейсмической активности  $A_{10}$  района ( $A_{10}=0.066$  вместо 0.075).

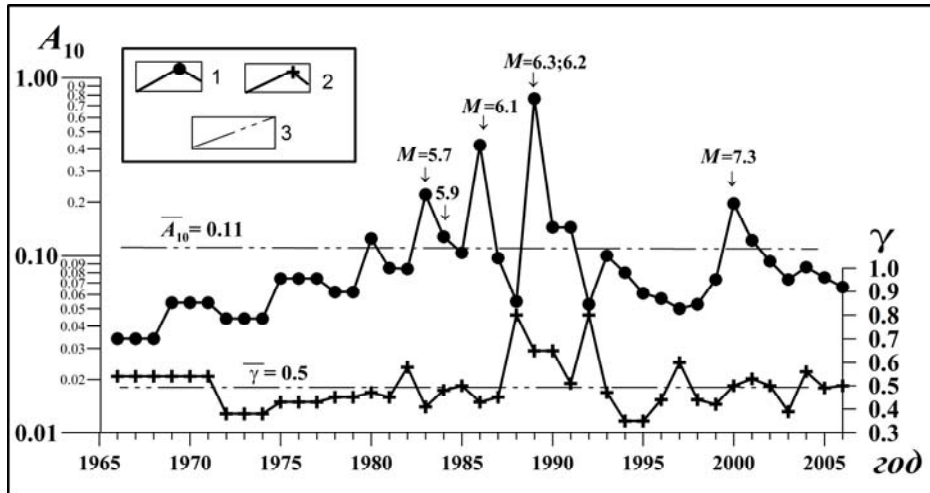
**Таблица 5.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$ , суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  и параметры сейсмического режима  $A_{10}$  и  $\gamma$  в сейсмоактивных районах

№	Район	$K_p$						$N_{\Sigma}$	$\Sigma E,$ $10^{12}$ Дж	$\gamma$	$A_{10}$	$\Delta K$
		8	9	10	11	12	13					
1	Балхано-Каспийский	111	31	10	3	1	1	157	10.74	0.50	0.066	9–12
2	Эльбурский	30	23	6	2			61	0.22	0.53	0.042	9–13
3	Туркмено-Хорасанский	169	53	20	6		1	249	5.06	0.45	0.081	8–13
4	Восточный Туркменистан	9	10	4	1	1		25	1.78	0.36	0.019	9–13
5	Центрально-Каракумский	1						1	$10^{-4}$			
	Копетдаг	320	117	40	12	2	2	493	17.80	0.48	0.033	9–13

Примечание.  $\Delta K$  – диапазон энергетических классов графиков повторяемости для определения параметров  $\gamma$ ,  $A_{10}$ .

На рис. 4 показано изменение во времени основных параметров сейсмического режима Балхано-Каспийского района: угла наклона графика повторяемости  $\gamma$  и сейсмической активно-

сти  $A_{10}$  за 40 лет наблюдений. Как видим, продолжается снижение сейсмической активности в Балхано-Каспийском районе, начавшееся в 2001 г. Величина угла наклона графика повторяемости, тем не менее, остается сравнительно стабильной. Как отмечалось в [14–16], всем сильным землетрясениям в районе предшествовали периоды понижения сейсмической активности, при этом магнитуда последующего землетрясения зависела от длительности периода пониженной активности. Угол наклона графика повторяемости обнаруживает тенденцию к повышению перед сильными событиями (рис. 4).



**Рис. 4.** Среднегодовые значения сейсмической активности  $A_{10}$  (1) и наклона графика повторяемости  $\gamma$  (2) в Балхано-Каспийском районе, в сравнении с долговременными средними значениями (3) этих параметров за весь период (стрелки здесь и на рис. 5 указывают моменты возникновения землетрясений с  $M > 5.5$ )

В очаговой зоне Балханского землетрясения 06.12.2000 г. с  $M_w=7.3$  [15], афтершоковая деятельность которого практически прекратилась в 2005 г., в 2006 г. произошло 12 октября в 17<sup>h</sup>08<sup>m</sup> довольно сильное ( $K_p=13.0$ ,  $M_s=4.8$ ) землетрясение, которое ощущалось в пос. Джебел с интенсивностью  $I=4$  балла, в г. Балканабат – 3–4 балла, в с. Дянеата – 2–3 балла. Механизм очага этого землетрясения [12] определен по знакам первых вступлений  $P$ -волн на региональных станциях с привлечением данных международной сети из бюллетеня ISC [9]. Он незначительно отличается от решения HRVD (№ 7 на рис. 3). В результате получены две возможные плоскости разрыва субширотного простирания. По пологой плоскости  $NP1$  в условиях преобладающего меридионального сжатия произошел надвиг северного крыла разрыва, а движение по субвертикальной плоскости ( $NP2$ ) представляло собой взброс с поднятием южного крыла разрыва относительно северного. Тип движения по обеим плоскостям является характерным в условиях меридиональной ориентации сжимающих напряжений [17]. Однако последовавший через 1<sup>h</sup>43<sup>m</sup> афтершок (8 на рис. 3) имел противоположный тип подвижки – сбросо-сдвиг по крутым плоскостям юго-восточного или широтного простирания, левосторонний и правосторонний соответственно. Афтершок ощущался жителями тех же населенных пунктов, что и основной толчок: в Джебеле – 3 балла, в Балканабате – 2–3 балла, в Дянеата – 2 балла [8].

Другое относительно сильное ( $K_p=11.6$ ) землетрясение (5) Балхано-Каспийского района произошло 8 июня в 23<sup>h</sup>00<sup>m</sup> на побережье Каспийского моря и ощущалось в г. Туркменбаши с  $I=2$ –3 балла. Подвижка в его очаге – сброс по плоскости субмеридионального простирания с компонентой правостороннего сдвига, или левостороннего по плоскости юго-западного простирания. Она нетипична для землетрясений данного района. В течение года в очаге этого землетрясения были зарегистрированы еще два ощутимых толчка, для которых также определены механизмы очагов. Это землетрясение (1) с  $K_p=10.9$ , зарегистрированное 19 февраля в 08<sup>h</sup>55<sup>m</sup> и имевшее те же координаты и ощущавшееся в г. Туркменбаши с интенсивностью 3 балла, и землетрясение (11) 8 декабря в 01<sup>h</sup>59<sup>m</sup> с  $K_p=10.8$ , проявившееся в Туркменбаши с интенсивностью  $I=2$ –3 балла. Подвижка в очаге первого из них представляла собой правосторонний сдвиг с надвиговой компонентой по широтной плоскости разрыва, или левосторонний сдвиг по меридио-

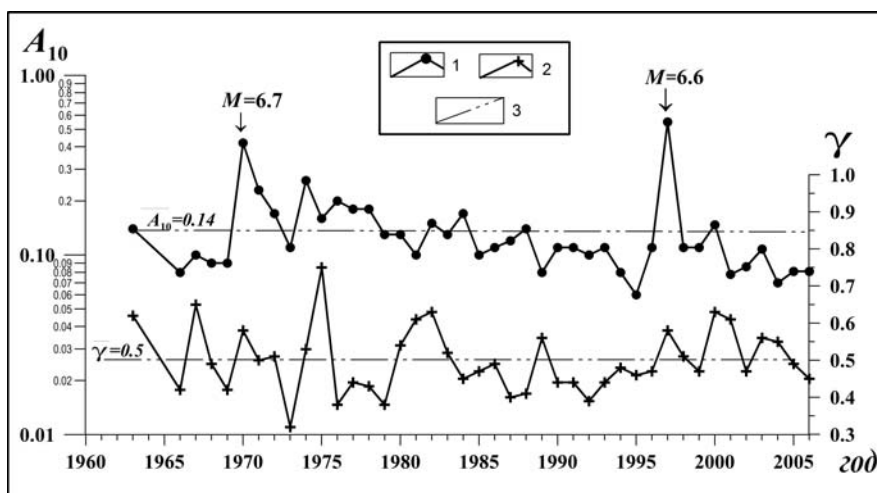


нальной плоскости. Во втором очаге произошла подвижка противоположного направления: надвиг с компонентой левостороннего сдвига по широтной плоскости разрыва, или правостороннего сдвига по меридиональной.

Эпицентры землетрясений (9, 12), возникших 31 октября в 19<sup>h</sup>36<sup>m</sup> с  $K_p=10.6$  и 16 декабря в 09<sup>h</sup>20<sup>m</sup> с  $K_p=9.9$ , приурочены к тому же Копетдаг-Большебалханскому разлому, что и вышеописанные землетрясения (1, 5, 7, 8, 11) (рис. 3), но расположены северо-западнее, в акватории Каспийского моря. В очагах обоих землетрясений сохраняется субширотная и юго-восточная ориентация плоскостей разрывов, но знак подвижек – противоположный. Если при первом из них произошел сброс с компонентами правостороннего сдвига по широтной плоскости, или с компонентой левостороннего сдвига по юго-восточной, то при втором – надвиг с компонентой левостороннего сдвига по широтной плоскости, или с компонентами правостороннего сдвига по плоскости юго-восточного простирания.

На территории **Эльбурского района (№ 2)** в 2006 г. продолжалось снижение уровня выделившейся сейсмической энергии и сейсмической активности, по сравнению с аналогичными параметрами в 2005 г. ( $\Sigma E=0.22 \cdot 10^{12}$  Дж вместо  $6.84 \cdot 10^{12}$  Дж и  $A_{10}=0.042$  вместо 0.075), и не было зарегистрировано ни одного события с  $K_p \geq 11$ . На рис. 3 представлен механизм очага приграничного землетрясения 22 февраля в 23<sup>h</sup>19<sup>m</sup> с  $K=9.0$  (2), определенный с использованием знаков первых вступлений *P*-волн на 10 сейсмических станциях ISC и IrSC [9]. Землетрясение произошло рядом с западной границей района № 2, в 100 км к северо-западу от столицы Ирана г. Тегеран. В очаге преобладал правосторонний сдвиг по широтной плоскости разрыва или левосторонний сдвиг с компонентами взброса по субмеридиональной плоскости.

В **Туркмено-Хорасанском районе (№ 3)** величина выделившейся сейсмической энергии несколько возросла ( $\Sigma E=5.06 \cdot 10^{12}$  Дж вместо  $9.92 \cdot 10^{12}$  Дж), в то время как сейсмическая активность осталась на прежнем уровне ( $A_{10}=0.081$ ). На рис. 5 показано изменение во времени основных параметров сейсмического режима Туркмено-Хорасанского района – угла наклона графика повторяемости  $\gamma$  и сейсмической активности  $A_{10}$  – за 40 лет наблюдений.



**Рис. 5.** Среднегодовые значения сейсмической активности  $A_{10}$  (1) и наклона графика повторяемости  $\gamma$  (2) в Туркмено-Хорасанском районе в сравнении со средними долговременными значениями (3) этих параметров за весь период

Анализ представленных графиков позволяет заметить, что понижение сейсмической активности предшествовало двум самым сильным землетрясениям района – Моравскому 30.07.1970 г. с  $MLH=6.7$  [18] и Боджнурдскому 04.02.1997 г. с  $MS=6.6$  [14].

На границе Эльбурского и Туркмено-Хорасанского районов 11 ноября в 17<sup>h</sup>03<sup>m</sup> произошло землетрясение (10) с  $K_p=10.9$ . Обе возможные плоскости разрыва в его очаге ориентированы субширотно, а подвижка по ним была надвиго-взбросового типа.

Два землетрясения с  $K_p \geq 11$  произошли в 38 км от г. Сердар: 15 марта в 09<sup>h</sup>49<sup>m</sup> и 17 марта в 04<sup>h</sup>18<sup>m</sup>. Оба толчка ощущались с одинаковой интенсивностью: в г. Сердар – 3 балла, в пос. Магтымгулы – 2–3 балла. Механизм очага землетрясения 17 марта удалось

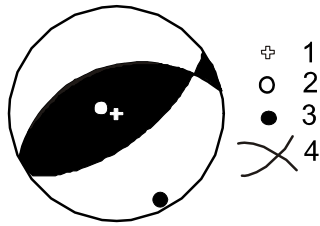
определить ([12], 4 на рис. 3): по субвертикальной плоскости разрыва меридионального простирания наблюдался сброс, т.е. опускание восточного крыла разрыва с правосторонним сдвигом; по плоскости запад–юго-западного простирания произошел левосторонний сдвиг с опусканием северного крыла.

Землетрясение ( $K_p=11.5$ ) произошло 19 декабря в  $08^h57^m$  на территории Северного Ирана. Согласно [12], в его очаге по горизонтальной субширотной плоскости разрыва ( $NP1$ ) произошел сдвиг висячего крыла в северном направлении, а по вертикальной плоскости юго-западного простирания ( $NP2$ ) – взброс, т.е. поднятие северо-западного крыла.

Самое сильное ( $K_p=12.6$ ) землетрясение (6) района произошло 16 сентября в  $10^h42^m$  в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. [14] и ощущалось в пос. Гермап ( $\Delta=57$  км) с  $I=3-4$  балла, в Ашхабаде – 3 балла. Согласно [12] и рис. 3, в его очаге преобладало субмеридиональное растяжение. Подвижки происходили по вертикальной плоскости северо-западного простирания или по горизонтальной субширотной плоскости. В первом случае произошел сброс с компонентой левостороннего сдвига, во втором – сброс с компонентой правостороннего сдвига.

В **Восточном Туркменистане (район № 4)** суммарная сейсмическая энергия уменьшилась от  $\Sigma E=6.8 \cdot 10^{12}$  Дж в 2005 г. до  $\Sigma E=1.78 \cdot 10^{12}$  Дж (табл. 5) – в 2006 году. Сейсмическая активность увеличилась почти в два раза, по сравнению с таковой в 2005 г., также продолжался отмеченный ранее [13] рост угла наклона графика повторяемости.

Самое сильное ( $K_p=12.2$ ) землетрясение (1) произошло в этом районе 7 марта в  $22^h50^m$ . Его эпицентр, по данным ISC, находился на территории Узбекистана, к северу от пос. Газли. Землетрясение ощущалось в г. Туркменабат с интенсивностью 2–3 балла. По данным Гарварда [9], в его очаге произошла подвижка типа надвиг по плоскости северо-восточного или юго-западного простирания (рис. 6).



**Рис. 6.** Стереодиаграмма механизма очага землетрясения 7 марта в  $22^h50^m$  с  $K_p=12.2$  [8],  $M_w=4.8$  [9] в районе Газли по данным HRVD в проекции нижней полусферы

1 – гипоцентр; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; 4 – нодальные линии; зачернена область волн сжатия.

Два землетрясения с  $K_p=10$  были зарегистрированы 7 февраля в  $15^h21^m$  и 11 ноября в  $17^h27^m$  на границе между Узбекистаном и Туркменистаном.

В Гаурдак-Кугитангской и Каршинской очаговых зонах происходили слабые землетрясения с  $K_p \leq 9$ .

Землетрясение с  $K_p=11.1$  зарегистрировано 22 апреля в  $16^h04^m$  на территории Северного Афганистана.

В целом по Копетдагскому региону в 2006 г. отмечена умеренная сейсмичность в известных очаговых зонах.

## Л и т е р а т у р а

1. **Петрова Н.В., Абасеев С.С.** Методика и программа расчета дальности регистрации сейсмических станций на территории Туркменистана // Материалы Международной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху великого возрождения». – Ашхабад: ЫЛЫМ, 2011. – С. 70–72.
2. **Аранович З.И., Ахалбедашвили А.М., Гоцадзе О.Д., Деканосидзе Ц.А.** Методика расчета эффективности сети сейсмических станций на примере Кавказа // Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмологических наблюдений. – Тбилиси: Мецниереба, 1977. – С. 27–55.
3. **Аранович З.И., Артиков Т.У.** Расчет эффективности сети региональных сейсмических станций Средней Азии // Методика и результаты оценки эффективности региональных систем сейсмических наблюдений. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – С. 78–96.
4. **Рахимов А.Р., Славина Л.Б.** Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.

5. 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.
6. Рахимов А.Р., Соловьёва О.Н., Арбузова Г.Н. Определение магнитуды землетрясений Туркмении на эпицентральных расстояниях до 400 км // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1983. – № 5. – С. 61–65.
7. Голинский Г.Л. Уравнения макросейсмического поля землетрясений Туркмении // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1977. – № 1. – С. 69–74.
8. Сарыева Г.Ч. (отв. сост.), Тачов Б., Халлаева А.Т., Клочков А.В., Дурасова И.А., Клычева Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В., Мустафаев Н.С. Каталог землетрясений Копетдага за 2006 г. ( $N=177$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2006.** – Berkshire: ISC, 2008. – [Электронный ресурс]. – <http://www.isc.ac.uk/search/index.html/2006>.
10. Петрова Н.В. Соотношения между оценками величины землетрясений Копетдага по данным различных сейсмологических центров // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 409–417.
11. Петрова Н.В. Магнитуды в международной сейсмологической практике и их связь с энергетическим классом по сети сейсмических станций Туркменистана // Материалы Международной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху великого возрождения». – Ашхабад: ЫЛЫМ, 2010. – С. 83–86.
12. Безменова Л.В., Петрова Н.В., Петров В.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Копетдага за 2006 г. ( $N=13$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
13. Петрова Н.В., Безменова Л.В., Сарыева Г.Ч., Чарыев М.М. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 112–127.
14. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Ильясов Б., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р., Безменова Л.В., Гарагозов Д., Ходжаев А., Баймурадов К., Рахманова М.С. Боджнурдское землетрясение 4 февраля 1997 г. ( $m_b=5.9$ ;  $MS=6.6$ ) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. М.: ГС РАН, 2003. – С. 199–218.
15. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Безменова Л.В., Рахимов А.Р. Балханское землетрясение 6 декабря 2000 г. с  $MS=7.3$ ,  $I_0=8-9$  (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 306–320.
16. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В. Особенности сейсмического режима и сильные землетрясения Копетдага в период 1992–2001 гг. // Материалы Международной конференции «Сейсмичность Северной Евразии». – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 41–46.
17. Расцветаев Л.М. О роли горизонтальных напряжений в формировании новейшей структуры Копетдага // Новейшие тектонические движения и структура альпийского геосинклинального пояса Юго-Запада Евразии. – Баку: Элм, 1970. – С. 138–144.
18. Голинский Г.Л. (отв. сост.), Голинский Г.Л., Кондорская Н.В., Рахимов А.Р., Рустанович Д.Н., Шебалин Н.В. (сост.) при участии Непесова Р.Д., Смирновой В.А. П в. Западная Туркмения [2000 до н.э. – 1974 г.,  $M \geq 4.5$ ,  $I_0 \geq 6$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 171–197.