

КОПЕТДАГ

Б.Н. Гаипов, Н.В. Петрова, Г.Л. Голинский, А.Р. Рахимов, Г.Ч. Сарыева

Научно-исследовательский институт сейсмологии Министерства строительства и промышленности строительных материалов Туркменистана, г. Ашхабад, gaipsr@online.tm

В 2000 г. сейсмические наблюдения в Копетдаге проводились, как и в 1999 г. [1], 21 сейсмической станцией. Оснащение и параметры регистрирующей аппаратуры на некоторых станциях изменились, по сравнению с [1], а именно: сняты сейсмографы СМ-3 с $V=20000$ на станции «Ашхабад», СМ-3 с $V=10000$ и С-5-С с $V=100$ – на станции «Ванновская», С-5-С с $V=100-500$ – на станции «Каракала», сейсмографы СКД с $V=700$ – на станции «Кизылатрек»; добавлены акселерографы ИСО-С5С с $V=0.11$ на 12 станциях; несколько изменилось увеличение на станциях «Каушут», «Маныш», «Овадан-Тепе», «Серный», «Гаурдак», «Карлюк» (табл. 1). Кроме стационарных станций, с 1 января начали регистрацию землетрясений 5 временных автономных сейсмических станций типа «Черепаша» (табл. 2) в районе Балханского (Небитдагского) геодинамического полигона.

Таблица 1. Сейсмические станции Туркменистана (в хронологии их открытия), работавшие в 2000 г., и их параметры

№	Станция		Дата открытия	Координаты		h_y , м	Аппаратура				
	Название	Код		φ° , N	λ° , E		Тип прибора	Компонента	V_{\max}	ΔT_{\max} , с	
межд.		рег.									
1	Ашхабад	ASH	Ашг	16.02.1947	37.96	58.37	305	СКМ-3 СК С-5-С ИСО+С5С	N, E, Z N, E, Z N E, Z	6000 1000 50 100 0.11	0.20–1.2 0.30–10 0.20–4.5 0.20–3.0 0.01–4.5
2	Кизыларват	КАТ	Кзл	01.01.1950	38.97	56.28	110	СК	N, E Z	1560 1150	0.36–11 5.50–11
3	Ванновская	VAN	Ван	07.07.1952	37.95	58.11	580	СКМ-3 СКД ИСО+С5С	N E Z N, E Z	87000 98000 112000 800 8000 0.11	0.21–1.1 0.27–1.9 0.26–1.3 0.21–15 0.22–16 0.01–4.5
4	Красноводск	KRE	Крс	31.03.1966	40.04	53.00	10	СКМ-3 СК ИСО+С5С	N, E Z N, Z E	30000 30000 1000 100 0.11	0.20–0.8 0.20–1.2 0.20–10 0.20–10 0.01–4.5
5	Небитдаг	NBD	Нбд	12.02.1966	39.51	54.39	15	СКМ-3 СКД ИСО+С5С	N, E Z N, E Z	5000 5000 1000 1000 0.11	0.16–1.3 0.13–1.3 0.20–17 0.40–23 0.01–4.5
6	Кизылатрек		Ктр	10.10.1968	37.68	54.77	55	СМ-3 ИСО+С5С	N, E, Z	5000 0.11	0.20–1.2 0.01–4.5
7	Каракала		Крк	26.03.1971	38.44	56.27	315	СКМ-3 СМТР ИСО+С5С	N, E, Z	5000 8.0 0.11	0.20–1.2 0.01–4.5
8	Чагыл		Чгл	11.11.1972	40.78	55.38	144	СКМ-3	N E, Z	40000 40000	0.10–0.8 0.20–0.7

№	Станция			Дата открытия	Координаты		h_y , м	Аппаратура			
	Название	Код			φ°, N	λ°, E		Тип прибора	Компонента	V_{max}	$\Delta T_{max, c}$
		межд.	рег.								
9	Каушут		Кшт	24.06.1977	37.46	59.49	257	ВЭГИК	N E Z	9400 10700 8300	0.20–1.2 0.30–1.5 0.20–1.2
								ИСО+C5C		0.11	0.01–4.5
10	Маньш		Мнш	04.01.1978	37.72	58.61	680	СКМ-3	N E, Z	6000 30000	0.20–1.3 0.20–1.2
								ИСО+C5C		0.11	0.01–4.5
11	Овадан-Тепе		Овд	12.04.1978	38.11	58.36	160	СМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.2
								ИСО+C5C		0.11	0.01–4.5
12	Серный		Срн	01.12.1980	39.99	58.83	120	СКМ-3	N E, Z	46000 50000	0.20–0.8 0.20–0.8
								ИСО+C5C		0.11	0.01–4.5
13	Гермаб		Грм	24.05.1980	38.01	57.75	775	СКМ-3	N, E, Z	50000	0.20–1.2
								ИСО+C5C		0.11	0.01–4.5
14	Серахс		Срх	01.01.1982	36.53	61.21		СМ-3	N, E, Z	12000	0.20–1.2
15	Гаурдак		Грд	01.12.1985	37.80	66.05	460	СМ-3	N E Z	10000 10000 20000	0.20–1.1 0.70–1.5 0.20–1.2
								ИСО+C5C		0.11	0.01–4.5
16	Кушка		Кшк	01.01.1986	35.27	62.31	650	СМ-3	N, E, Z	10000	0.20–1.2
17	Даната		Днт	24.04.1988	39.07	55.17		СКМ-3	N, E, Z	40000	0.20–0.8
18	Сунча		Сун	01.10.1990	38.50	57.30		СМ-3	N E Z	8880 9420 10000	0.60–1.4 0.80–1.5 0.60–1.3
19	Карлюк		Кар	20.07.1992	37.56	66.43		СМ-3	N E Z	20000 20000 28400	0.20–1.2 0.20–1.3 0.30–1.3
20	Кугитанг		Куг	05.10.1992	37.91	66.48		СМ-3	N E, Z	2000 10000	0.20–1.2 0.20–1.2
21	Кёнекесир		Кнк	04.09.1995	38.20	56.90		СМ-3+PB3	N E Z	40000 40000 40000	0.20–1.5 0.50–1.4 0.30–1.2

Таблица 2. Временные сейсмические станции «Черепеха», работавшие в 2000 г. на территории Балханского (Небитдагского) геодинамического полигона

№	Станция	Координаты	
		φ°, N	λ°, E
1	Янкуи	40.01	54.67
2	Белек	39.93	55.90
3	Дашарват	39.75	54.375
4	Кыскасу	39.57	53.90
5	Насосная	39.45	54.54

К сожалению, станции «Черепеха» из-за трудностей материально-технического снабжения работали с перерывами и не всегда обеспечивали кондиционный материал, поэтому, например, при расчете и построении карты энергетической представительности они не учитывались.

Стационарная сеть сейсмических станций обеспечивала на большей части территории Балхано-Каспийского (№ 1), Туркмено-Хорасанского (№ 3) и Центрально-Каракумского (№ 5) районов представительную регистрацию землетрясений с $K_{3min}=9$, в Эльбурском (№ 2) районе и в Восточном Туркменистане (№ 4) – $K_{3min}=9-10$. За счет повышения увеличения V_{max} на станции «Гаурдак» с 10000 до 20000, а в «Карлюк» – с 10000 до 28400, значительно увеличились площади, ооконтуренные изолиниями с $K_{3min}=8.5$ и 9.0 в Восточном Туркменистане. В Ашхабадском районе, напротив, ситуация несколько ухудшилась, поскольку единая ранее площадь, ооконтуренная изолинией $K_{3min}=7.0$ [1], распалась на две отдельные зоны: одна вокруг станции «Ашхабад», другая – восточнее станции «Кёнекесир». Это связано с тем, что на станции

«Ашхабад» были остановлены сейсмографы СМ-3 с $V_{max}=20000$ из-за фона помех, возросшего от начавшегося в непосредственной близости от нее гражданского строительства. Результаты расчета значений K_{min} представлены на рис. 1. Дополнительно оценка уровня представительности землетрясений произведена по графику повторяемости землетрясений в каждом из пяти районов Копетдага (табл. 3), как и в [1, 2].

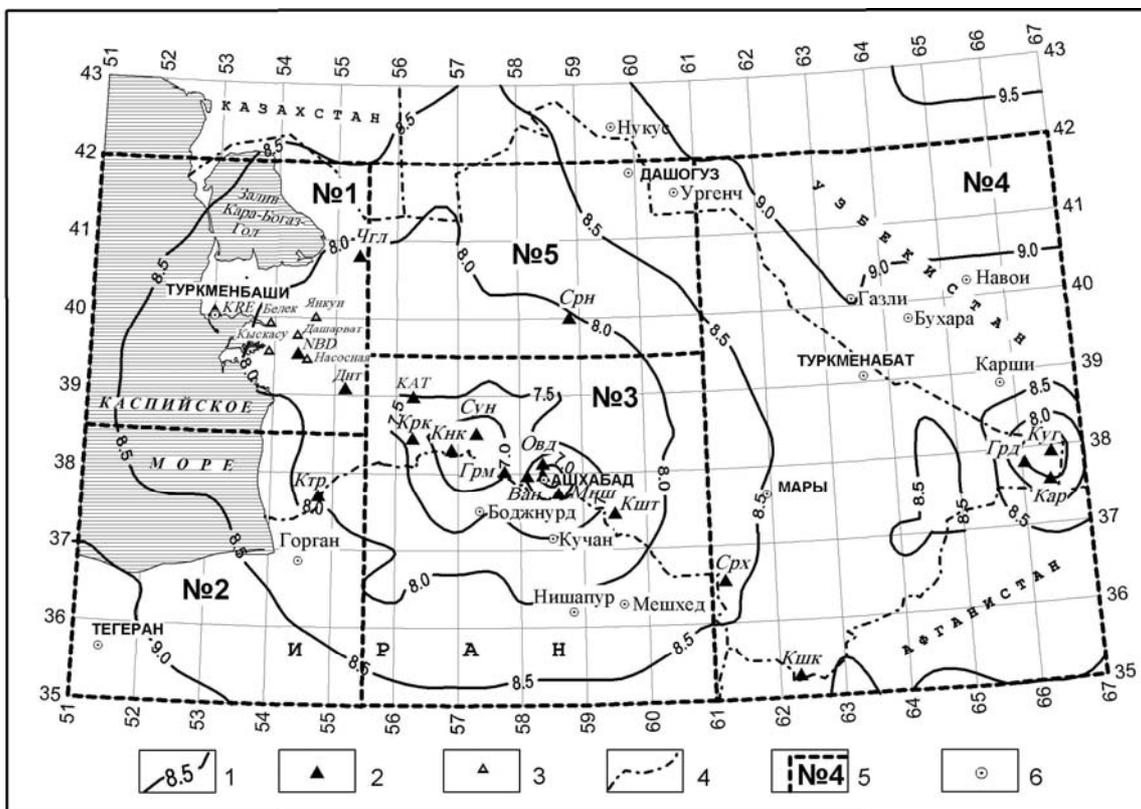


Рис. 1. Карта энергетической представительности K_{min} землетрясений Копетдага за 2000 г.

1 – изолиния K_{min} ; 2, 3 – сейсмическая станция, стационарная и временная соответственно; 4 – государственная граница; 5 – граница района; 6 – город.

Таблица 3. Координаты пяти районов и региона в целом; представительные энергетические классы K_{3min} в их пределах, определенные по карте на рис. 1 и по левому загибу графика повторяемости ($K_{\gamma min}$)

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

Методика обработки записей землетрясений осталась прежней: кинематические параметры землетрясений региона определялись на основе региональных блочных годографов [3], по программе LOCTRY [4], энергетического класса K_p – по палетке Раутиан [5], магнитуды $MPVA$ – по [6], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – на основе регионального уравнения макросейсмического поля [7].

Общее число зарегистрированных землетрясений только с $K_p \geq 8$ составило $\Sigma N = 1205$, а выделившаяся в их очагах суммарная энергия – $\Sigma E = 3.18 \cdot 10^{16}$ Дж (табл. 4).

Сравнение числа и суммарной энергии всех землетрясений за 2000 г. (табл. 4) с соответствующими показателями за 1992–1999 гг. (табл. 5) свидетельствует о том, что сейсмическая

энергия, выделившаяся в 2000 г. ($\Sigma E=31796.7 \cdot 10^{12}$ Дж), максимальна из-за Балханского землетрясения 6 декабря 2000 г. с магнитудой $MS=7.3$ [8], $M_w=7.0$ [9], детально описанного в отдельной статье [10] наст. сб. Более того, она максимальна даже при рассмотрении значительно большего периода наблюдений, начиная с 1948 г., со времени катастрофического Ашхабадского землетрясения 05.10.1948 г. с магнитудой $M=7.3$, $I_0=9-10$ баллов [11]. Суммарное число землетрясений ($N_{\Sigma}=5739$) за 2000 г. также превышает годовые его значения за 1992–1999 гг. из-за афтершоков Балханского землетрясения, кроме 1997 г., когда реализовалась уникальная ($N_{\Sigma} \sim 9000$) серия афтершоков Боджнурдского землетрясения 27.02.1997 г. с $M=6.6$ [12, 13], несмотря на меньшее, по сравнению с Балханским, значение его магнитуды.

Таблица 4. Распределение по районам числа землетрясений разных классов K_p , суммарной сейсмической энергии ΣE и параметров сейсмического режима A_{10} и γ за 2000 г.

№	Район	K_p										N_{Σ}	$\Sigma E \cdot 10^{12}$, Дж	γ	A_{10}	ΔK
		8	9	10	11	12	13	14	15	16						
1	Балхано-Каспийский	264	94	30	13	2	1	–	–	1	405	31632.8	0.50	0.196	8–12	
2	Эльбурский	20	29	10	1	1	–	–	–	–	61	0.98	0.54	0.049	9–12	
3	Туркмено-Хорасанский	453	144	40	14	1	3	1	–	–	656	98.59	0.46	0.169	8–14	
4	Восточный Туркменистан	26	37	14	3	2	–	1	–	–	83	64.42	0.45	0.031	9–12	
5	Центрально-Каракумский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	КОПЕТДАГ	763	304	94	31	6	4	2	–	1	1205	31796.7	0.44	0.082	9–14	

Примечание. В графе « ΔK » приведен диапазон энергетических классов, в котором строились графики повторяемости для определения γ и A_{10} .

Таблица 5. Сводные данные о годовых числах землетрясений и суммарной энергии в регионе ($\varphi=35-42^\circ N$, $\lambda=51-67^\circ E$) за 1992–2000 г.

Год	K_p										N_{Σ}	$\Sigma E \cdot 10^{12}$, Дж
	2–7	8	9	10	11	12	13	14	15	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

В каталог землетрясений Копетдага за 2000 г. [14], помещенный в наст. сб., включены землетрясения лишь с $K_p \geq 8.6$, общее число которых составило $N=440$. Карта их эпицентров изображена на рис. 2, где хорошо видны три облака повышенной плотности эпицентров землетрясений: первое связано с упомянутым выше Балханским землетрясением 6 декабря в $17^h 11^m$ с $K_p=16.5$, $MS=7.3$; второе является результатом продолжающейся миграции сейсмической активности на север из очаговой зоны Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г.; третье облако эпицентров лежит вне Туркменистана, на крайнем юго-западе Узбекистана, и образовано афтершоками землетрясения 20 апреля в $08^h 41^m$ с $K_p=13.8$, $MS=5.2$ [14].

Ниже рассматривается более детально сейсмичность по районам.

В **Балхано-Каспийском** районе (№ 1) начало 2000 г. отмечено довольно сильным ($K_p=12.7$) землетрясением 26 января в $23^h 00^m$ в прибрежной зоне Каспийского моря, которое произошло к северо-западу от п-ова Челекен. По своему положению оно является как бы разделом достаточно ярко выраженной активизации сейсмичности в Каспийском море в меридионально вытянутой полосе эпицентров от серии предваряющих и последующих толчков Балханского землетрясения (рис. 2). Интенсивность сотрясений в эпицентре землетрясения 26 января из-за значительной глубины ($h=42$ м) составила всего $I_0=4-5$ баллов. Такая же интенсивность отмечена в 10 км от эпицентра в пос. Кизыл-Су, расположенном на Красноводской косе, а в Туркменбаши – 4–4.5 балла.

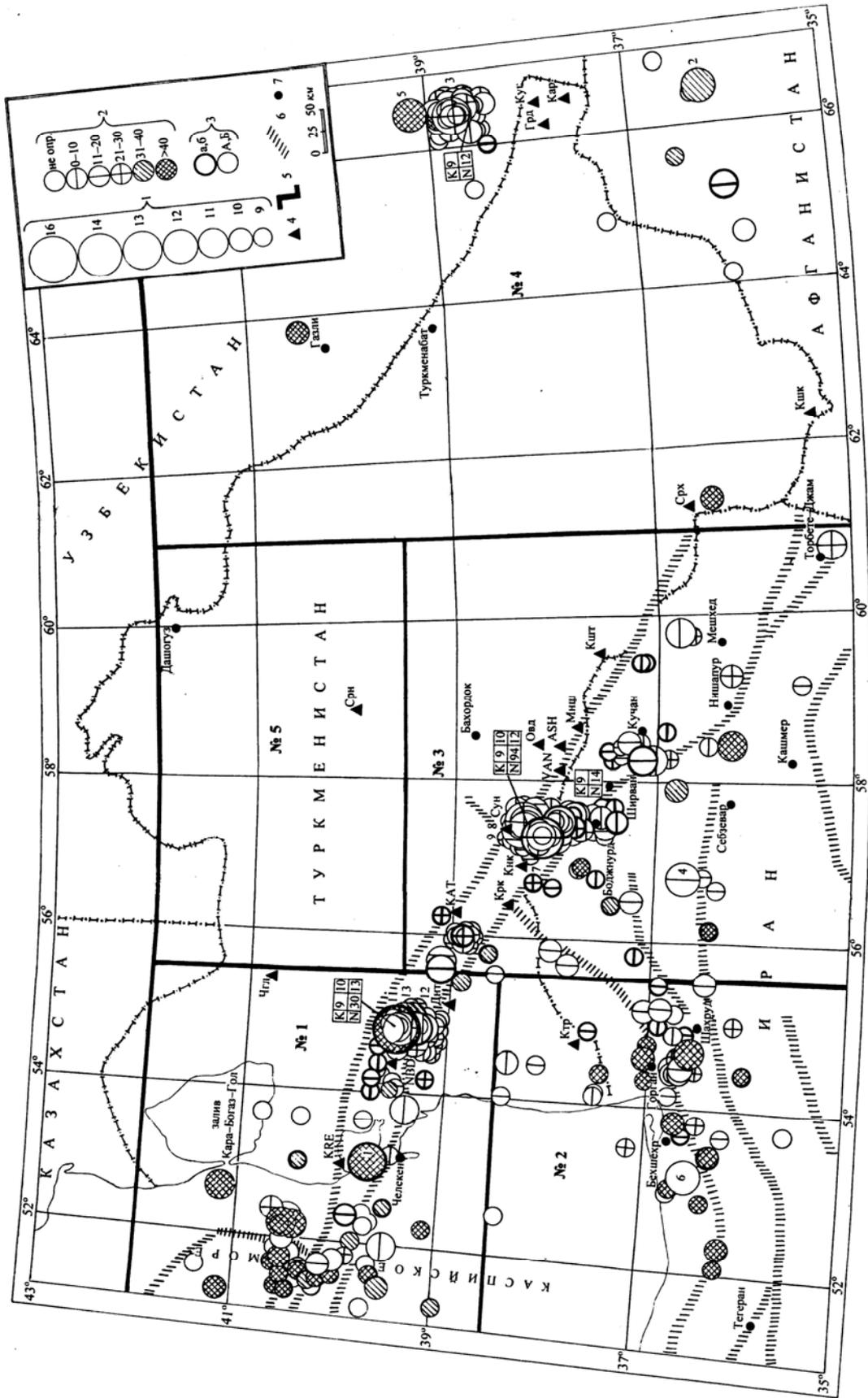


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага с $K_r \geq 8.6$ за 2000 г.

1 – энергетический класс K_r ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – ошибка в определении эпицентра; а, б – ≤ 10 км; А, Б – ≤ 50 км; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница района; 6 – глубинный разлом; 7 – населенный пункт.

Согласно [15], землетрясение 26 января произошло в условиях близгоризонтального напряжения сжатия северо-западного простирания и близгоризонтального напряжения растяжения северо-восточного простирания. В очаге по близмеридиональной субвертикальной плоскости (*NP1*) отмечается взброс с компонентами левостороннего сдвига, по плоскости северо-восточного простирания (*NP2*) – взброс с компонентами правостороннего сдвига. Судя по ориентации сейсмогенных структур (рис. 2), предпочтительна плоскость *NP2*. Решения HRVD [9] близки к решению ССТ, обе плоскости имеют крутое падение, плоскость *NP2* имеет близмеридиональное простирание, плоскость *NP1* – субширотное. Движение в очаге по плоскости *NP1* – взброс с компонентами левостороннего сдвига, по *NP2* – взброс с компонентами правостороннего сдвига (рис. 3).

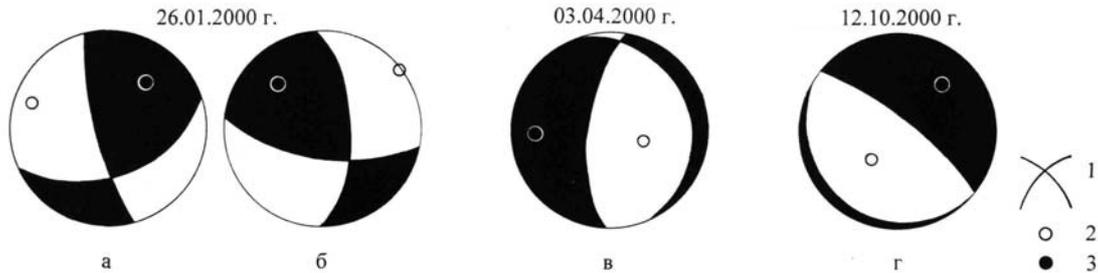


Рис. 3. Стереогаммы механизмов очагов (нижняя полусфера) для землетрясений:

26 января в 23^h00^m с $K_p=12.7$ (ССТ и HRVD), 3 апреля в 04^h36^m с $K_p=10.7$ (ССТ) и 12 октября в 12^h05^m с $K_p=9.5$ (ССТ). 1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Всего в 2000 г. за год в Каспийском море зарегистрировано 85 землетрясений с $K_p=6-11$, причем 79 из них возникли до Балханского землетрясения и, следовательно, не связаны с ним. Среди них по ощутимости выделяется событие 14 июня в 16^h03^m с $K_p=11.5$. Как и землетрясение 26 января, оно имело очаг на большой глубине – $h=45$ км. Эпицентр расположен в 15 км к западу от природной перемычки, отделяющей Каспийское море от залива Кара-Богаз-Гол (рис. 2). В ближайших селениях оно вызвало сотрясения с $I=3$ балла в Аджалма (20 км) и Карабогазкель (28 км), в Айыме (40 км) – 2–3 балла. К юго-юго-западу от него 8 марта в 01^h45^m локализовано еще одно землетрясение с близкой энергией – $K_p=11.3$. Оценка его глубины, по данным ССТ [14] и ISC [9], находится в интервале $h=50-62$ км. По этой причине, а также из-за значительной удаленности от береговой линии, оно не ощущалось.

К востоку от акватории Каспийского моря, в районе Джебела и Кыскасу, уже в январе началось группирование слабых землетрясений с $K_p \leq 9$, продолжавшееся вплоть до Балханского землетрясения 6 декабря (рис. 4). Для самого крупного из этих событий, землетрясения 12 октября в 12^h05^m с $K_p=9.5$, благодаря хорошему окружению временными и стационарными сейсмическими станциями удалось определить механизм очага (рис. 3). Согласно полученному решению ССТ, для этого землетрясения ориентация обеих нодальных плоскостей (северо-запад-юго-восток) совпадает с диагональным направлением разрывного нарушения, прослеживаемого от района севернее г. Туркменбаши и далее на юго-восток, секущего Копетдаг-Большебалханскую сейсмогенную зону в районе Джебела и соединяющего ее с Хазар-Кюрендагской в районе Кумдага. Тип движения по обеим плоскостям – сброс. Решение соответствует существующим или предполагаемым [16, 17] тектоническим движениям в зоне перехода от Большого Балхана к Прибалханскому прогибу.

На юго-востоке Балхано-Каспийского района 3 апреля произошло два ощутимых землетрясения близкой энергии. Первое из них, в 04^h36^m, имело $K_p=10.7$, $h=13$ км, $I_0^p=5$ баллов. Его очаг расположен в горном хр. Карагёз. Колебания проявились в Кулуяр (20 км) и Кульмач (28 км) с $I=4$ балла, в Газанджике (ныне Берекет) и Обой (30 км) – 3–4 балла, в Даната (43 км) – 3 балла. Второе землетрясение возникло в 15^h43^m ($K_p=10.6$, $h=12$ км, $I_0^p=5$ баллов). Его очаг отстоит к северу от первого и относится к хр. Кюрендаг. Землетрясение ощущалось в тех же селениях и с той же интенсивностью – от 3 до 4 баллов. Третий толчок, 8 апреля в 16^h47^m, имел небольшой энергетический класс ($K_p=9.0$), значительную глубину ($h=35$ км) и не ощущался

жителями. Для первого из этих землетрясений (3 апреля в $04^{\text{h}}36^{\text{m}}$) определен механизм очага (рис. 3). Согласно полученному решению [15], землетрясение произошло в условиях северо-восточного субгоризонтального растяжения и юго-западного крутого сжатия. Нодальная плоскость $NP1$ имеет юго-восточное простирание, субвертикальна, подвижка – сброс; плоскость $NP2$ – субмеридиональна и субгоризонтальна, подвижка – поддвиг. Ни одно из этих решений не дает совпадения плоскости очага с ориентацией выявленных здесь разрывов и не отражает типичные тектонические движения для данного района.

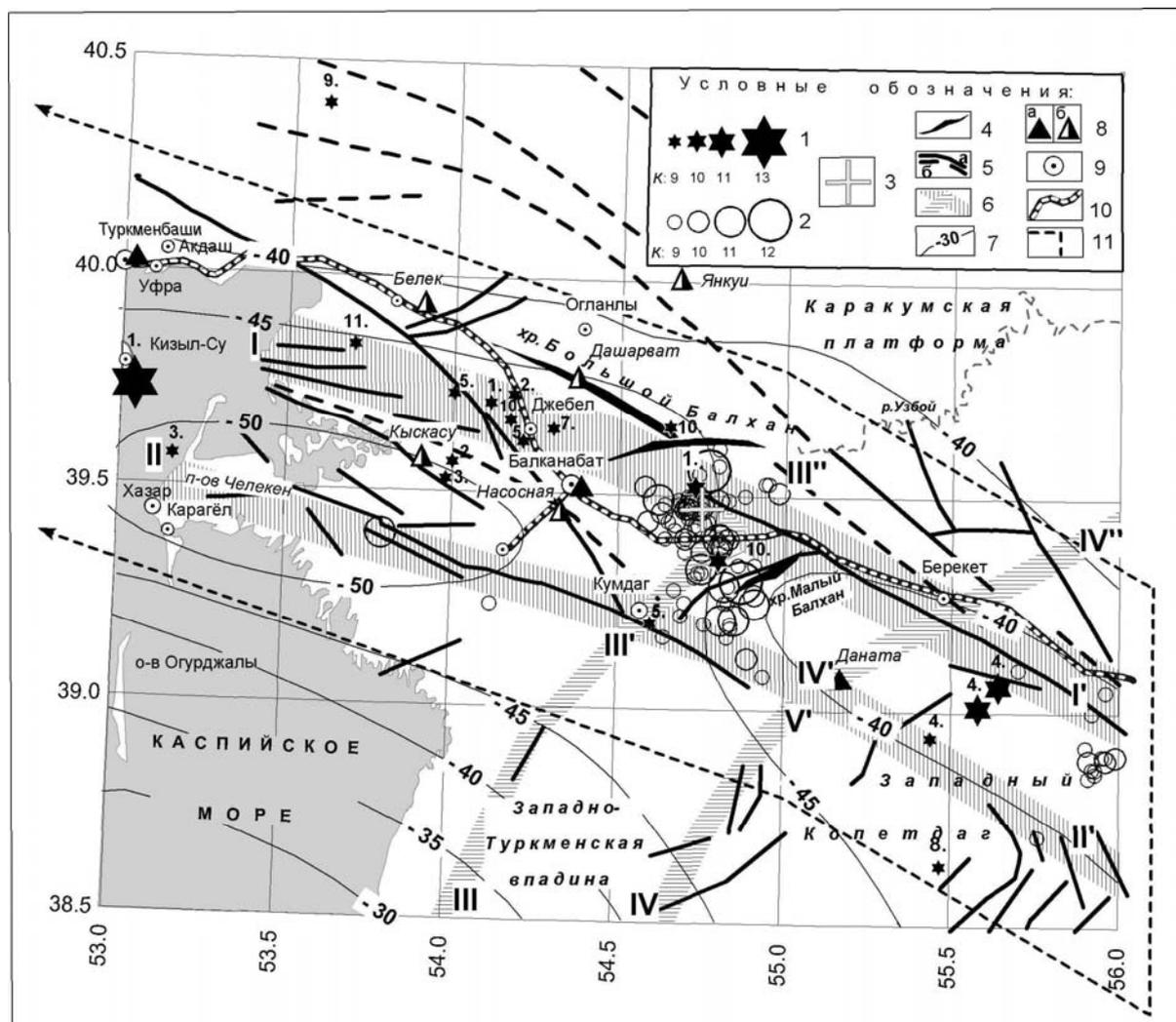


Рис. 4. Фор- и афтершоки с $K_p \geq 9$ Балханского землетрясения 6 декабря с $MS=7.3$

1 – форшоки (число рядом обозначает месяц); 2 – афтершоки; 3 – эпицентр основного толчка по данным сети сейсмических станций Туркменистана (ССТ); 4 – оси антиклиналей Большого и Малого Балхана; 5 – разрывные нарушения осадочного чехла: а – по геолого-геофизическим данным; б – по результатам дешифрования космических снимков [18]; 6 – сейсмогенные зоны по [19] (I–I' – Копетдаг-Большебалханская, I–II' – Хазар-Кюрендагская; III–III' – Окаремская; III'–III'' – Межбалхан-Узбойская; IV–IV' – Шахманская, IV'–IV'' – Берекет-Дубебуюнская); 7 – изолинии границы Мохоровичича [20]; 8 – стационарная (а) и временная (б) сейсмическая станция; 9 – город; 10 – железная дорога; 11 – граница участка для построения пространственно-временного графика сейсмического режима перед Балханским землетрясением [10].

Таким образом, в период до основного толчка 6 декабря большинство сейсмических событий на восточном побережье Каспия группировались в шовной зоне, охватывающей Хазар-Кюрендагский и Копетдаг-Большебалханский глубинные разломы, концентрируясь на трех участках: западном – в районе Джебела, центральном – в районе юго-восточных склонов Большого Балхана и Межбалханского коридора, и восточном – восточнее Даната, в Западном Копетдаге (рис. 4).

В Эльбурском районе (№2) в 2000 г. сейсмичность проявилась в основном в Иране. Здесь ярко выражена приуроченность основной массы эпицентров к более северному глубинному разлому северо-восточной ориентации в пределах долгот $\lambda=52.0-55.0^\circ\text{E}$, перетекающей далее на восток ближе ко второму разлому. Максимальным ($K_p=11.8$) здесь было землетрясение юго-западнее Бехшехра, на южном побережье Каспийского моря, произошедшее 16 августа в $12^{\text{h}}53^{\text{m}}$ на глубине 30 км. Движение в его очаге произошло в условиях преобладания напряжения сжатия, ориентированного в северо-западном направлении [15]. Обе нодальные плоскости имеют близкое северо-восточное-юго-западное простирание (рис. 5) и наклонены к горизонту под близкими углами – $DP_1=34^\circ$, $DP_2=57^\circ$. Тип движения по обеим плоскостям – взброс.

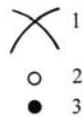
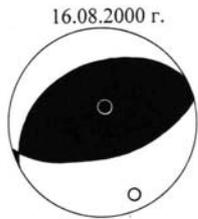


Рис. 5. Стереограмма механизма очага землетрясения 16 августа в $12^{\text{h}}53^{\text{m}}$ $K_p=11.8$ (нижняя полусфера)
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Второе по величине ($K_p=11.3$) землетрясение описываемой совокупности реализовалось 3 июля в $04^{\text{h}}20^{\text{m}}$ северо-западнее Шахруда на глубине $h=42$ км. Из-за значительной глубины и удаленности более чем на 100 км ни одно из них не ощущалось жителями Туркменистана.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) самым крупным событием первого полугодия было землетрясение 4 июня в $07^{\text{h}}32^{\text{m}}$ с $K_p=12.1$, локализованное в 90 км северо-западнее г. Себзеvar (рис. 2). Сейсмичность A_{10} на территории района после сравнительно спокойного двухлетнего периода 1998–1999 гг. ($A_{10}\approx 0.1$), следовавшего за периодом максимальной активности после Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. [13], заметно активизировалась в 2000 г. до $A_{10}=0.17$ севернее его очаговой зоны (рис. 6). Карта эпицентров всех землетрясений на этом участке показана на рис. 7, согласно которому они образовали в плане два облака повышенной плотности несколько с разной ориентацией: меридиональной – в Иране, севернее Боджнурда, северо-восточной – в Туркменистане, южнее Бахардена. Большая часть сильных толчков с $K_p=11-14$ приурочена к месту сочленения Главного Копетдагского и Гермабского разломов. Следует отметить, что ранее здесь не были известны землетрясения с $K_p\geq 14$ (рис. 8), и самым крупным событием здесь было Тагаревское землетрясение 06.10.1979 г. с $K_p=12.6$, $M=4.9$ [21].

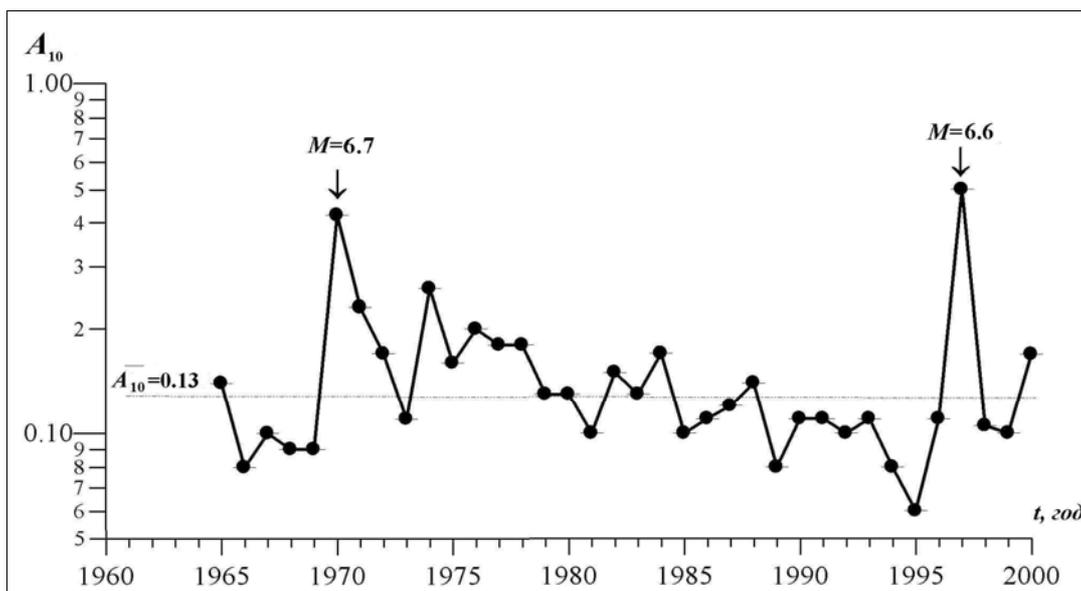


Рис. 6. Среднегодовые значения сейсмической активности A_{10} в Туркмено-Хорасанском районе за 1965–2000 гг.

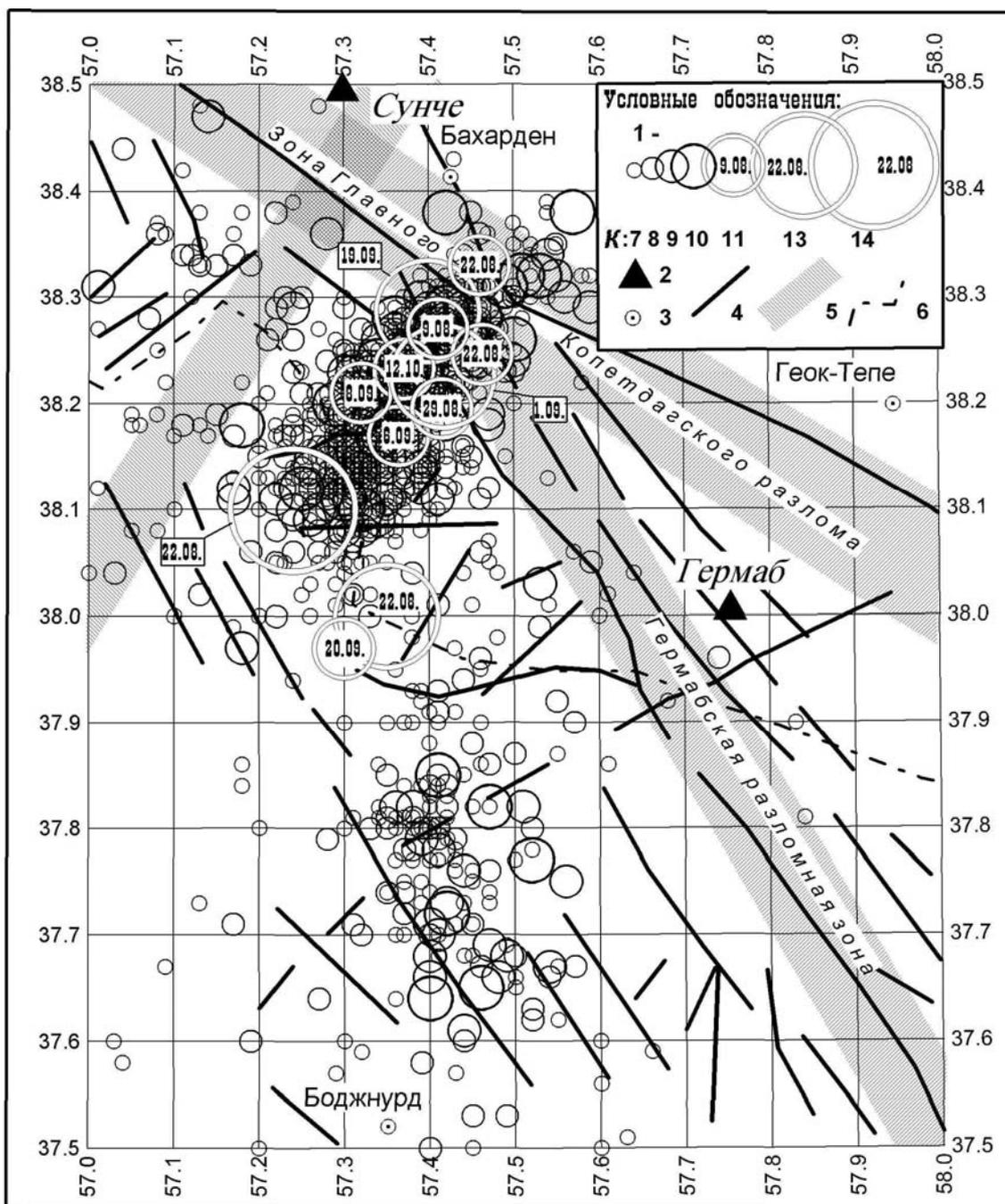


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений Центрального Копетдага с $K_r \geq 6.6$ за 2000 г.

1 – эпицентры землетрясений с $K_r=7-14$ с указанием даты для более сильных с $K_r \geq 11$; 2 – сейсмическая станция; 3 – город; 4 – разломы по [22]; 5 – разломы по [23]; 6 – государственная граница.

Как видно из рис. 9, первые три месяца 2000 г. были наиболее спокойными как во всем районе, так и в его в Южно-Бахарденской зоне. За этот период наиболее крупное землетрясение ($K_r=11.0$) произошло 25 января в $23^{\text{h}}39^{\text{m}}$ на иранской территории, к западу от Нишапура. В апреле здесь возникли первые два землетрясения, в мае – одно, в июне – еще пять толчков с $K_r \geq 9$, концентрируясь южнее, в Боджнурдской очаговой зоне. 4 июля в $19^{\text{h}}13^{\text{m}}$ зарегистрирован еще один предшествующий толчок с $K_r=9.7$, локализованный в 15 км от эпицентра будущего главного события 22 августа с $K_r=13.8$ (рис. 7). За семь дней до начала серии ощутимых Южно-Бахарденских землетрясений Боджнурдская очаговая зона проявилась землетрясением 2 августа в $18^{\text{h}}42^{\text{m}}$ с $K_r=9.2$, после чего ее активность на энергетическом уровне $K_r \geq 9$ практически прекратилась.

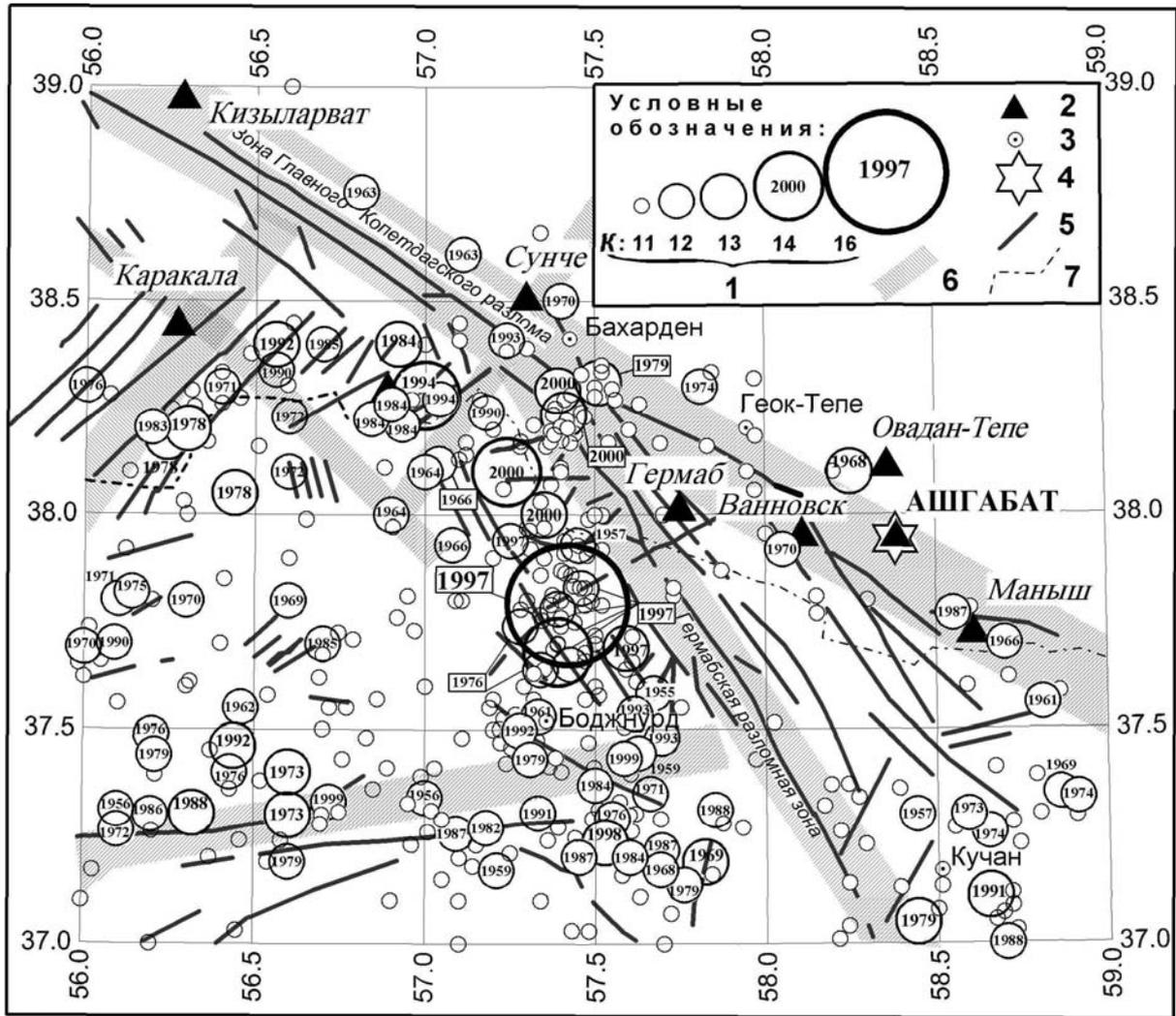


Рис. 8. Карта эпицентров землетрясений Центрального Копетдага с $K_p \geq 10.6$ за 1955–2000 гг.

1 – эпицентры землетрясений (внутри круга указан год); 2 – сейсмическая станция; 3 – город; 4 – Ашхабад; 5 – разлом по [22]; 6 – разломная зона по [23]; 7 – государственная граница.

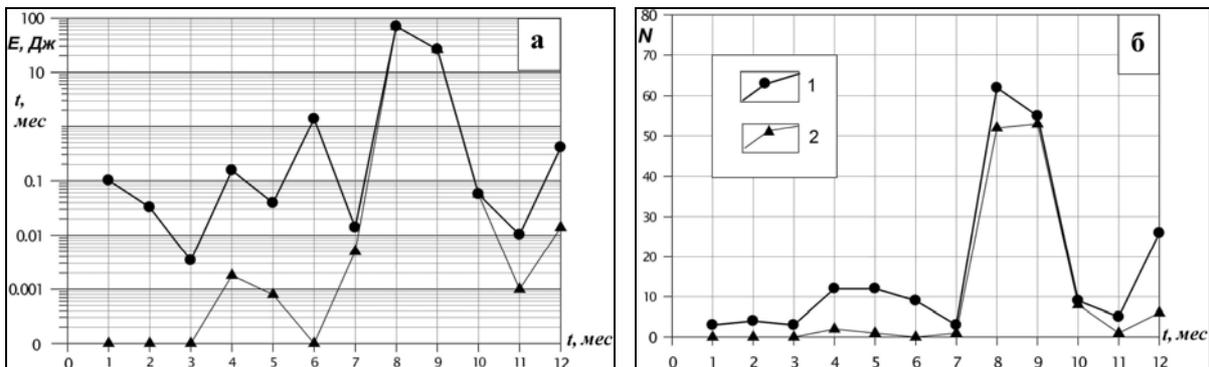


Рис. 9. Графики месячных значений сейсмической энергии (а) и числа землетрясений (б):

1 – для Туркмено-Хорасанского района; 2 – для Южно-Бахарденской очаговой зоны.

Серию сильных ($K_p \geq 11$) Южно-Бахарденских землетрясений открыло событие 9 августа в 11^h34^m с $K_p = 11.3$ (рис. 7). Оно ощущалось в Карагане (12 км) с $I = 5-6$ баллов, в Тагараве (15 км) – 5 баллов. Согласно [15], это землетрясение произошло в условиях преобладания на-

пряжения сжатия (рис. 10). Обе плоскости имеют северо-восточное– юго-западное простирание, плоскость $NP1$ залегает круто, плоскость $NP2$ – полого. Тип движения по обеим плоскостям – взброс.

Непосредственно перед основным сейсмическим событием с $K_p=13.8$ в его окрестности с 9 по 22 августа регистрировались лишь слабые толчки с $K_p=5-8$. Но вне Южно-Бахарденской зоны, вблизи Кучана, за сутки до основного толчка, 21 августа в 15^h40^m и 15^h53^m , произошли два землетрясения с $K_p=10.3$ и $K_p=11.0$ соответственно, приуроченные к Гермабскому разлому.

Основное землетрясение Южно-Бахарденской серии 2000 г. с $K_p=13.8$ возникло 22 августа в 16^h55^m . Его эпицентр расположен в приграничной зоне Ирана. В Туркменистане оно ощущалось с интенсивностью $I=6-7$ баллов в Сарымсаклы, Прохладном (10 км), 6 баллов – в Тарагаве (15 км), 5 баллов – в Бахардене (40 км). Для этого землетрясения имеется два решения механизма очага – ССТ и HRVD (рис. 10). По первому из них движение в очаге произошло под действием близких по величине напряжений растяжения в восточном направлении и сжатия, ориентированного на север. Плоскость $NP1$ имеет северо-восточное простирание и крутое падение. Подвижка по ней представлена сбросом с компонентами левостороннего сдвига. Плоскость $NP2$ простирается в северо-западном направлении и залегает более полого, тип подвижки по ней – правосторонний сдвиг. По HRVD движение в очаге произошло в условиях как сжимающих напряжений, направленных на юг, так и растягивающих, направленных на запад. Обе nodальные плоскости практически вертикальны, $NP1$ имеет северо-западное–юго-восточное направление, движение по ней характеризуется правосторонним сдвигом, $NP2$ имеет юго-западное–северо-восточное простирание, подвижка по ней – левосторонний сдвиг (рис. 10).

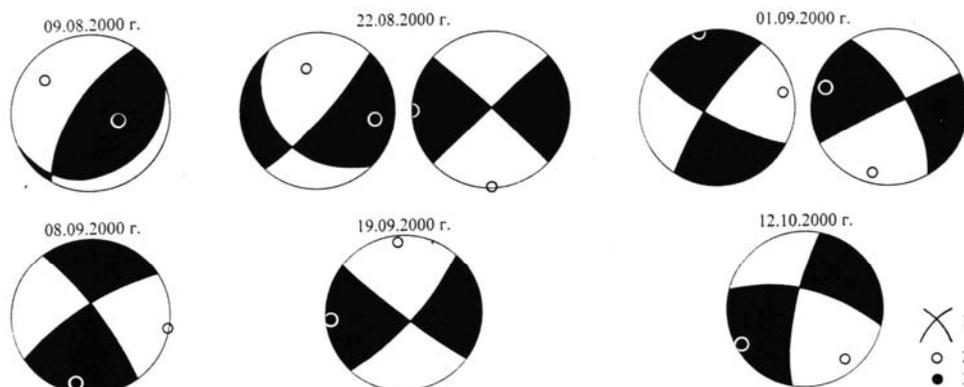


Рис. 10. Стереогаммы механизмов очагов (нижняя полусфера) для землетрясений:

9 августа в 11^h34^m с $K_p=11.3$ (ССТ), 22 августа в 16^h55^m с $K_p=13.8$ (ССТ и HRVD), 1 сентября в 05^h04^m с $K_p=13.0$ (ССТ и HRVD), 8 сентября в 05^h16^m с $K_p=11.1$ (ССТ), 19 сентября в 15^h19^m с $K_p=13.2$ (HRVD), 12 октября в 07^h52^m с $K_p=10.6$ (ССТ). 1 – nodальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Первый сильный ($K_p=12.8$) афтершок произошел спустя 7 мин (в 17^h02^m) в 15 км к юго-востоку от эпицентра основного толчка, как бы завершая предшествующую деятельность в области эпицентров севернее Боджнурда. Афтершок ощущался в тех же селениях с интенсивностью I от 5–6 до 5 баллов. Через 41 мин, в 17^h43^m , после нескольких слабых афтершоков, в 26 км северо-восточнее эпицентра основного толчка возник следующий сильный афтершок с $K_p=11.2$, предвеляя дальнейшую активизацию в Южно-Бахарденской зоне северо-восточной ориентации. В Бахардене (20 км) это землетрясение проявилось с $I=4-5$ баллов. Еще один достаточно сильный ($K_p=10.7$) афтершок возник в 21^h56^m всего в 10 км к югу от Бахардена и обозначил границу этой зоны, в которой локализовано большинство афтершоков. До 1 сентября, на протяжении недели, было зарегистрировано 50 афтершоков с $K_p \geq 8.6$.

Следующее сильное ($K_p=13.0$) землетрясение произошло 1 сентября в 05^h04^m с очагом на глубине $h=25$ км в районе горы Тагарав. Оно ощущалось с $I=5-6$ баллов в Сарымсаклы (8 км), Прохладном (10 км) и Тагараве (15 км); 5 баллов – в Бахардене (25 км), Гермабе (35 км); 3 балла – в Геок-Тепе (50 км). Для этого землетрясения имеется также два решения механизма

очага (рис. 10). По ССТ очаг находился в условиях близгоризонтального субширотного сжатия и горизонтального субмеридионального растяжения. Обе плоскости субвертикальные, $NP1$ – юго-восточного–северо-западного простирания, подвижка – левосторонний сдвиг; плоскость $NP2$ имеет северо-восточное–юго-западное простирание, подвижка – правосторонний сдвиг. По HRVD очаг находился в условиях близгоризонтального субширотного растяжения и близгоризонтального субмеридионального сжатия. Обе плоскости субвертикальные, $NP1$ – юго-восточного–северо-западного простирания, подвижка – правосторонний сдвиг; плоскость $NP2$ имеет северо-восточное–юго-западное простирание, подвижка – левосторонний сдвиг. По этим двум решениям механизмы подобны, простирания нодальных плоскостей и типы движений по ним близки – сдвиги (движение в очаге под действием как напряжения сжатия, так и растяжения, близких по величине), но ориентация различается на 90° .

Далее в описываемой зоне произошли землетрясения 6 сентября в $21^{\text{h}}33^{\text{m}}$ и 8 сентября в $05^{\text{h}}16^{\text{m}}$ с $K_p=10.6$ и 11.1 соответственно. Для второго из них определен механизм очага [15], согласно которому в очаге действовало горизонтальное субширотное сжатие и близгоризонтальное субмеридиональное растяжение. Обе нодальные плоскости субвертикальны. Плоскость $NP1$ северо-западного простирания с подвижкой – левосторонний сдвиг, плоскость $NP2$ северо-восточного простирания с подвижкой – правосторонний сдвиг.

Последний сильный ($K_p=13.2$) толчок реализовался 19 сентября в $15^{\text{h}}19^{\text{m}}$ в 17 км южнее Бахардена, причем его эпицентр ($\varphi=38.27^\circ$, $\lambda=57.40^\circ$) до десятых долей градуса совпадает с эпицентром ($\varphi=38.24^\circ$, $\lambda=57.41^\circ$) землетрясения 1 сентября с $K_p=13.0$. Интенсивность вызванных им сотрясений составила в Тагараве и Пантыше (10 км) 6 баллов, в Бахардене – 5–6 баллов. Это землетрясение вызвало новый всплеск слабой сейсмичности, до этого скачкообразно затухающей (рис. 11). Землетрясение произошло под действием горизонтального субширотного напряжения растяжения и близгоризонтального субмеридионального напряжения сжатия. Обе нодальные плоскости – субвертикальны, плоскость $NP1$ – северо-восточного простирания с подвижкой типа левосторонний сдвиг, плоскость $NP2$ – северо-западного простирания с подвижкой типа правосторонний сдвиг (рис. 10).

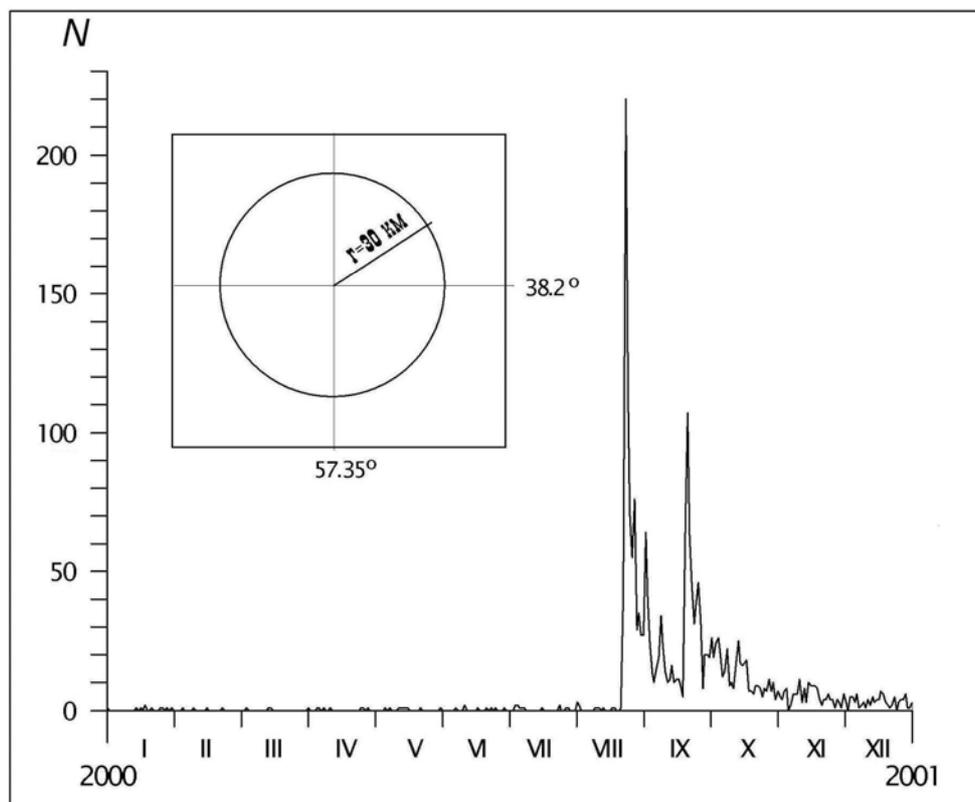


Рис. 11. Суточные числа землетрясений с $K_p \geq 5.6$ на локальном участке радиусом 30 км относительно центра тяжести с координатами 38.2°N , 57.35°E .

Больше таких сильных толчков не было. 20 сентября в 04^h54^m возник афтершок с $K_p=10.6$ южнее основного толчка (в Иране), который ощущался в туркменских селениях Солюкли (10 км) с $I=5$ баллов, Прохладном (17 км) – 4 балла, в Гермабе (38 км) – 3 балла.

Через три недели, 12 октября в 07^h52^m, возникло землетрясение такой же энергии ($K_p=10.6$) в 25 км северо-восточнее, в месте наибольшего скопления Южно-Бахарденских землетрясений. В Бахардене (17 км) ощущались 4-балльные колебания и 5-балльные в Тагараве и Пантыше, расположенных в 10 км от очага. Землетрясение произошло под действием как близгоризонтальных напряжений растяжения в юго-западном направлении, так и напряжений сжатия в юго-восточном направлении [15]. Механизм очага землетрясения 12 октября представляет собой левосторонний сдвиг по вертикальной плоскости меридионального простирания, или правосторонний сдвиг по субширотной вертикальной плоскости (рис. 10).

Таким образом, развитие сейсмического процесса на описываемой части Туркмено-Хорасанского разлома было достаточно сложным. Начавшись в конце января на территории Ирана в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения ($\varphi\sim 37.6^\circ$), оно распространялось до 9 августа в северном направлении до широты $\varphi=38.0^\circ$ землетрясениями с $K_p\leq 10$. После непродолжительного затишья, наблюдаемого с 9 по 22 августа, реализовался самый сильный ($K_p=13.8$) толчок всей серии. Его афтершоки образовали зону наибольшей плотности эпицентров в северо-восточном направлении, но некоторые из них локализованы юго-восточнее основного толчка, как бы соединяя воедино процессы, протекающие в Боджнурдской и Южно-Бахарденской зонах. К концу 2000 г. суточное число землетрясений с $K_p\geq 5.6$ в радиусе 30 км от центра тяжести эпицентров Южно-Балханских землетрясений все еще превышало сейсмический фон, существовавший до начала этой серии толчков (рис. 11).

На территории **Восточного Туркменистана** (район № 4) основным событием стало повторение землетрясения 31.10.1999 г. с $K_p=13.6$ [1]: 20 апреля 2000 г. в 08^h41^m возникло землетрясение подобной силы ($K_p=13.8$) и почти с тем же эпицентром. Оно вызвало большее число афтершоков, чем в предыдущем году (рис. 12). Среди них – 30 толчков 9-го энергетического класса, 11 – 10-го, 2 – 11-го и 1 – 12-го (табл. 6).

Сотрясения от основного толчка проявились в Талимарджане (90 км), в Свинцовом Руднике (95 км) и в Говурдаке (105 км) с $I=3-4$ балла ($I_0^p=6$ баллов).

Самый сильный афтершок произошел 9 июня в 04^h36^m ($K_p=11.6$; $I_0^p=5$ баллов) и имел большую глубину ($h=42$ км). В тех же пунктах сотрясения составляли 2–3 балла.

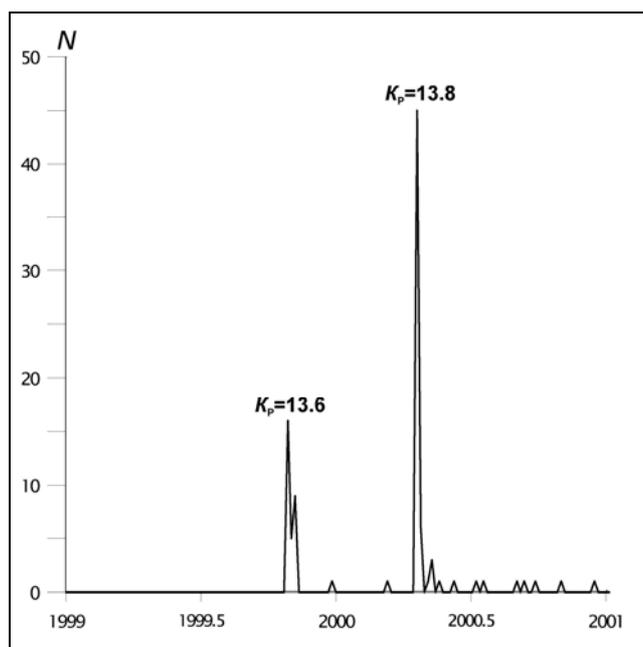


Рис. 12. Распределение числа землетрясений с $K_p\geq 8$ в радиусе 50 км от эпицентров землетрясений 31.10.1999 г. и 20.04.2000 г. по пятидневным интервалам

Таблица 6. Список афтершоков землетрясения 20 апреля 2000 г. с $K_p=13.8$)

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		δ , км	K_p	h , км	δh , км	№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		δ , км	K_p	h , км	δh , км
			φ° , N	λ° , E								φ° , N	λ° , E				
Основной толчок																	
18	20.04	08 41 31	38.70	66.40	10	13.8	25		47	21.04	02 53 48	38.60	66.50		8.0		
Афтершоки																	
19	20.04	09 08 46	38.50	66.50	15	8.6		3	48	21.04	08 51 19	38.70	66.50	25	9.7		
20	20.04	09 26 33	38.58	66.32	10	8.6	9	1	49	21.04	08 51 59	38.70	66.40	25	10.0		
21	20.04	09 32 20	38.70	66.60	15	8.4		3	50	21.04	08 53 14	38.70	66.40	25	9.5		
22	20.04	09 43 25	38.60	66.70	10	8.6		0	51	21.04	11 02 08	38.67	66.48	5	11.3	19	3
23	20.04	09 45 10	38.60	66.60	15	8.8			52	21.04	11 06 59	38.70	66.10	25	9.3		
24	20.04	10 01 37	38.63	66.52	10	9.4			53	21.04	11 28 40	38.70	66.10		8.2		
25	20.04	10 08 20	38.65	66.51	10	10.3			54	21.04	12 09 09	38.70	66.10		8.2		
26	20.04	11 29 33	38.60	66.60	10	8.7			55	21.04	14 10 33	38.70	66.10		8.3		
27	20.04	11 47 24	38.60	66.60	10	9.1			56	21.04	15 42 30	38.70	66.10		7.6		
28	20.04	12 58 43	38.64	66.26	10	9.4	14		57	21.04	16 47 35	38.70	66.10	25	8.7		
29	20.04	12 59 44	38.57	66.70	10	9.0	5	4	58	21.04	22 16 49	38.70	66.10		7.6		
30	20.04	13 31 03	38.70	66.60	10	8.3			59	22.04	07 33 45	38.63	66.34	10	8.8	6	3
31	20.04	13 49 14	38.70	66.60	25	8.4	7		60	22.04	10 53 12	38.69	66.75	15	9.1	26	9
32	20.04	14 00 32	38.70	66.60	10	8.6	8		61	24.04	19 19 32	38.64	66.53	10	9.3	14	1
33	20.04	14 09 13	38.60	66.60		8.4			62	24.04	22 53 24	38.64	66.24	25	9.9	8	6
34	20.04	14 09 39	38.60	66.50		7.9			63	25.04	21 55 33	38.55	66.58	10	9.2	15	1
35	20.04	14 11 47	38.60	66.60		8.3			64	25.04	22 34 42	38.64	66.56	10	9.3	14	1
36	20.04	16 06 04	38.59	66.50	10	9.1	9	6	65	26.04	18 00 16	38.49	66.52	15	9.6		
37	20.04	17 41 37	38.60	66.70		8.5			66	27.04	01 49 08	38.70	66.10		7.8		
38	20.04	18 47 47	38.60	66.45	10	8.6	14		67	07.05	02 02 31	38.50	66.60	25	8.7		
39	20.04	18 52 34	38.64	66.41	10	8.6			68	11.05	15 06 23	38.49	66.79		7.7	25	
40	20.04	20 29 57	38.55	66.68	10	9.4	10	4	69	11.05	19 42 59	38.43	66.66		7.7	1	
41	20.04	21 48 28	38.64	66.50	10	10.1	14		70	20.05	21 37 08	38.58	66.55	10	8.9	28	1
42	20.04	22 10 57	38.60	66.58		7.9	13		71	09.06	04 36 48	39.06	66.53	25	11.6	42	3
43	20.04	22 36 28	38.59	66.56	10	9.6	10	2	72	11.07	09 31 30	38.75	66.66	10	10.4	10	1
44	20.04	23 22 51	38.53	66.71	25	8.7	5	6	73	20.07	09 52 53	38.37	66.48	5	8.7	2	2
45	21.04	01 25 23	38.67	66.52	10	9.5	12	2	74	02.09	18 06 19	38.55	66.32	10	9.5	12	
46	21.04	02 31 01	38.51	66.59	10	8.9	9	1	75	13.09	14 21 53	38.88	66.38	15	10.8	33	8
									76	30.09	16 03 59	38.59	66.36	10	9.9	30	1
									77	01.11	19 30 44	38.55	66.50	5	9.4	35	4
									78	19.12	23 20 39	38.71	66.18	5	10.5	9	2

В Центральном-Каракумском районе (№ 5) в 2000 г. землетрясений с $K_p \geq 8$ не зарегистрировано.

В целом по Копетдагу сейсмическая активность в 2000 г. повысилась до $A_{10}=0.082$, по сравнению с $A_{10}=0.057$ в 1999 г. при неизменном параметре $\gamma=0.44$, отражая возросшее число землетрясений всех энергетических классов, за исключением $K_p=12$.

Л и т е р а т у р а

1. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 87–102.
2. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 70–82.
3. Рахимов А.Р., Славина Л.Б. Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
4. Абасеев С.С. Решение задачи гипоцентрии с учетом горизонтальной неоднородности среды и произвольного расположения точек приема относительно источника // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1991. – № 6. – С. 34–42.
5. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. 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. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2000 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 2000–2001.
9. Bulletin of the International Seismological Centre for 2000. – Berkshire: ISC, 2002.
10. 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). (См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.).
11. 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. II в. Западная Туркмения [2000 до н.э. – 1974 гг., $M \geq 4.5$, $I_0 \geq 6$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 171–197.
12. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 63–72.
13. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Ильясов Б.И., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р., Безменова Л.В., Гарагозов Д., Ходжаев А., Баймурадов К., Рахманова М.С. Боджнурдское землетрясение 4 февраля 1997 года с $MS=6.6$, $I_0=8$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 199–210.
14. Сарыева Г.Ч., Рахимов А.Р., Голинский Г.Л. (отв. сост.), Тачов Б., Мамедязова М.Т., Халлаева А.Т., Коржукова Т.А., Таджиева Ш.К., Дурасова И.А., Клычева Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В. Копетдаг. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
15. Аннаорова Т.А., Безменова Л.В. (отв. сост.). Копетдаг. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
16. Полетаев А.И. Сейсмоструктура зоны Главного Копетдагского разлома. – М.: Наука, 1986. – 134 с.
17. Berberian M. Historical Seismicity (pre 1900) Map of Iran. Scale 1:5000000 // Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section, 1977.
18. Геологическая карта Туркменской ССР. Тектоническая схема (врезка, масштаб 1:2000000) / Гл. ред. М.К. Мирзаханов. – 1989.
19. Гаипов Б.Н., Воронцова Э.С., Голинский Г.Л., Мурадов Ч., Петрова Н.В., Рахимов А.Р., Абасев С.С. Национальная карта сейсмического районирования Туркменистана // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Ашхабадского землетрясения. Тезисы докладов. – Ашхабад: Наука, 1999. – С. 43–65.
20. Ишутин В.В., Лыков В.И., Одеков О.А. Геотектонические особенности глубинной структуры Туркменистана. – Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1970. – № 2. – С. 106–113.
21. Голинский Г.Л., Городкова Т.Н., Рахимов А.Р. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1979 году. – М.: Наука, 1982. – С. 31–36.
22. Berberian M. Historical Seismicity (pre 1900) Map of Iran. Scale 1:5000000 // Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section, 1977.
23. INTAS 94–1644. Test Area for Seismic Hazard Assessment in the Caucasus. Final report. – Ашхабад: Фонды НИИС Туркменистана, 1997. – 57 с.
24. Сарыева Г.Ч., Рахимов А.Р., Голинский Г.Л. (отв. сост.), Тачов Б., Мамедязова М.Т., Халлаева А.Т., Коржукова Т.А., Таджиева Ш.К., Дурасова И.А., Клычева Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. (На CD).