

КОПЕТДАГ

Б.Н. Гаипов, Н.В. Петрова, Л.В. Безменова, Г.Ч. Сарыева

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

В 2001 г. регистрация сейсмических событий Копетдагского региона велась теми же 21 стационарными аналоговыми сейсмическими станциями Туркменистана (табл. 1а), что и в 2000 г. [1]. Параметры восьми станций («Кизыл-Атрек», «Кара-Кала», «Каушут», «Гермаб», «Даната», «Сунча», «Карлюк», «Кёнекесир») соответствуют таковым в [1]. Параметры аппаратуры на остальных станциях изменились: незначительно – увеличение или полоса пропускания на станциях «Ашхабад», «Кизыл-Арват», «Красноводск», «Небит-Даг», «Чагыл», «Маныш», «Овадан-Тепе», «Кушка», «Кугитанг», более существенно – на станции «Ванновская», где в связи с интенсивным строительством вблизи станции и ростом фона помех увеличение пришлось снизить с 112000 до 70000. Снижено увеличение и в «Гаурдаке» с 20000 до 13600. На станции «Серный», наоборот, увеличение возросло с 50000 до 61000.

Кроме того, в 2001 г. к оперативной и сводной обработке землетрясений региона были привлечены данные цифровой сейсмической станции «Геокча» (АБКТ) системы IRIS (табл. 1а, 1б), которая функционировала на территории Туркменистана с 1994 г. в рамках совместного проекта ИДА с университетом Сан-Диего. Ранее данные этой станции были доступны только для американской стороны, однако в ноябре 2000 г. станция была переоборудована новым комплектом аппаратуры, что позволило связать ее через радиомодемные ретрансляторы с Центральным компьютером в Службе срочных донесений (ССД) с круглосуточным дежурством в здании Института сейсмологии (20 км). В течение 2001 г. отлаживались программы автоматической обработки записей этой станции, тогда как дежурные ССД использовали выведенную на экран компьютера запись для распознавания и обработки сейсмических событий в реальном масштабе времени, что значительно повысило оперативность и точность подачи срочных донесений в государственные органы. Поскольку в 2001 г. шла отладка работы станции, а также решались методические вопросы, в частности, по поводу энергетической классификации землетрясений, карта K_{\min} , представленная на рис. 1, строилась без учета параметров этой станции.

Таблица 1а. Сейсмические станции Туркменистана (в хронологии их открытия), работавшие в 2001 г., и их параметры

№	Станция			Дата открытия	Координаты		h_y , м	Аппаратура			
	Название	Код			φ° , N	λ° , E		Тип прибора	Компонента	V_{\max} , чувствит-ть	ΔT_{\max} , с
		межд.	рег.								
1	Ашхабад	ASH	Ашх	16.02.1947	37.96	58.37	305	СКМ-3	N, E, Z	6000	0.20–1.2
								СК	N, E, Z	1000	0.30–10.2
								C5C	N	100	0.20–3.1
									E, Z	100	0.20–3.2
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
									Z	0.1	0.01–4.5
ССРЗ-М	N, E, Z	0.0019 c^2	0.05								
2	Кизыл-Арват	КАТ	Кзл	01.01.1950	38.97	56.28	110	СК	N, E	1580	0.36–11
									Z	1190	5.50–11
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
									Z	0.1	0.01–4.5
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.0021 c^2	0.05
								3	Ванновская	VAN	Ван
	E	70000	0.18–1.2								

№	Станция			Дата открытия	Координаты		h_y , м	Аппаратура			
	Название	Код			φ° , N	λ° , E		Тип прибора	КомпONENTА	V_{\max} , чувствит-ть	ΔT_{\max} , с
		межд.	рег.								
								СКД	Z N, E	70000 1000	0.20–1.3 0.17–19.3
								ИСО+C5C	Z N, E	950 0.1; 2.5	0.25–20.5 0.01–4.5
								ССРЗ-М	Z N, E, Z	0.1 0.0021 c ²	0.01–4.5 0.05
4	Красноводск	KRS	Крс	31.03.1966	40.04	53.00	10	СКМ-3	N, E Z	30000 30000	0.14–0.81 0.17–0.81
								СК	N, Z E	1000 100	0.20–9.8 0.24–9.8
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.0019 c ²	0.05
5	Небит-Даг	NBD	Нбд	12.02.1966	39.51	54.39	15	СКМ-3	N, E Z	5000 5000	0.16–1.3 0.13–1.3
								СКД	N, E, Z	1000 1000	0.17–17.4 0.18–17.0
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.002 c ²	0.05
6	Кизыл-Атрек		Ктр	10.10.1968	37.68	54.77	55	СМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.2
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
7	Кара-Кала		Крк	26.03.1971	38.44	56.27	315	СКМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.2
								СМТР		8.0	
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
8	Чагыл		Чгл	11.11.1972	40.78	55.38	144	СКМ-3	N E, Z	40000 40000	0.13–0.8 0.20–0.7
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
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	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
10	Маныш		Мнш	04.01.1978	37.72	58.61	680	СКМ-3	N E, Z	6000 30000	0.14–1.3 0.17–1.3
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
11	Овадан-Тепе		Овд	12.04.1978	38.11	58.36	160	СМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.3
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
12	Серный		Срн	01.12.1980	39.99	58.83	120	СКМ-3	N E Z	56000 61000 52000	0.20–0.8 0.20–0.8 0.20–0.8
13	Гермаб		Грм	24.05.1980	38.01	57.75	775	СКМ-3	N, E, Z	50000	0.20–1.2
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5
14	Серахс		Срх	01.01.1982	36.53	61.21		СМ-3	N, E, Z	12000	0.20–1.2
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.0021 c ²	0.05
15	Гаурдак		Грд	01.12.1985	37.80	66.05	460	СМ-3	N E Z	13600 10700 11200	0.34–0.5 0.24–1.4 0.60–1.5
								ИСО+C5C	N, E Z	0.1; 2.5 0.1	0.01–4.5 0.01–4.5

№	Станция			Дата открытия	Координаты		$h_y, м$	Аппаратура			
	Название	Код			φ°, N	λ°, E		Тип прибора	Компонента	V_{max} , чувствит-ль	$\Delta T_{max}, c$
		межд.	рег.								
16	Кушка		Кшк	01.01.1986	35.27	62.31	650	СМ-3 ИСО+C5C	N, Z, E N, E Z	10000 0.1; 2.5 0.1	0.20–0.9 0.01–4.5 0.01–4.5
17	Даната		Днт	24.04.1988	39.07	55.17		СКМ-3 ССРЗ-М	N, E, Z N, E, Z	40000 0.0019 c^2	0.20–0.8 0.05
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 ИСО+C5C	N E Z N, E Z	20000 20000 28400 0.1; 2.5 0.1	0.20–1.2 0.20–1.3 0.30–1.3 0.01–4.5 0.01–4.5
20	Кугитанг		Куг	05.10.1992	37.91	66.48		СМ-3 ИСО+C5C	N E, Z N, E Z	2000 10000 0.1; 2.5 0.1	0.13–1.3 0.20–1.3 0.01–4.5 0.1–4.5
21	Кёнекесир		Кнк	04.09.1995	38.20	56.90		СМ-3+PB3 ССРЗ-М	N E Z N, E, Z	40000 40000 40000 0.002 c^2	0.20–1.5 0.50–1.4 0.30–1.2 0.05
22	Геокча (АБКТ)	GKCH	Гкч	20.11.2000 (1994)	37.93	58.12		STS-1 FBA-23 GS-13	IRIS – цифровая станция		

Примечание. В табл. приведены сведения об аппаратуре регистрации сильных движений грунта (ИСО+C-5-C, ССРЗ-М), установленной на большинстве станций в 80-е гг. Ранее эти данные не включались в аналогичные таблицы из-за практического отсутствия записей (1–2 в год).

Таблица 16. Параметры каналов цифровой сейсмической станции «Геокча» (АБКТ) системы IRIS, используемых в оперативной и сводной обработке землетрясений Копетдага

Название станции и дата открытия	Тип датчика	Перечень имеющихся каналов и их характеристики	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, велосигрф – отсчет/(м/с)
Геокча 20.11.2000	STS-1 GS-13	BH (N, E, Z) (v) SH (N, E, Z) (v)	0.0028–5 0.5–10	20 40	24 24	$1.59 \cdot 10^9$ $1.6 \cdot 10^9$

Указанные изменения станционных увеличений несколько изменили конфигурацию изолиний на карте представительности регистрации землетрясений (рис. 1), по сравнению с таковой в [1], однако представительные энергетические классы по районам и Копетдагу в целом остались теми же (табл. 2). Стационарная сеть сейсмических станций по-прежнему обеспечивала на большей части территории Балхано-Каспийского, Туркмено-Хорасанского и Центрально-Каракумского районов регистрацию без пропусков землетрясений с $K_{3min}=9$ (расчет представительности K_{min} проведен при минимальном числе станций $n=3$), в Эльбурском районе и Восточном Туркменистане – с $K_{3min}=9-10$ (рис. 1, табл. 2). Из-за снижения увеличения V_{max} на станции «Гаурдак» в Восточном Туркменистане исчезла обособленная зона с $K_{3min}=8.5$ западнее Гаурдакского района. В Центральном Копетдаге, в районе треугольника станций «Кёнекесир»–«Сунча»–«Гермаб» уменьшилась зона, оконтуренная изолинией $K_{3min}=7.0$. На западе несколько уменьшились площади зон с $K_{3min}=8.0$ и 8.5 (рис. 1).

Методика обработки записей землетрясений осталась прежней: кинематические параметры определялись на основе региональных блочных годографов [2], энергетического класса K_p – по

палетке Т.Г. Раутиан [3], магнитуды MPVA – согласно [4], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – на основе регионального уравнения макросейсмического поля [5].

В каталог землетрясений Копетдага [6] и на карту эпицентров (рис. 2) включены все землетрясения с $K_p \geq 8.6$, зарегистрированные и обработанные сейсмической службой Туркменистана, включая землетрясения на сопредельных территориях. Однако в расчеты выделяющейся ежегодно в регионе сейсмической энергии в (табл. 3), представительности $K_{\gamma \min}$ по наклону графика повторяемости и характеристик сейсмического режима по районам (табл. 4) включены только сейсмические события, произошедшие в границах, указанных в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2. Координаты и площади пяти районов и региона в целом; представительные энергетические классы $K_{3\min}$ 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	$K_{3\min}$	$K_{\gamma \min}$
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

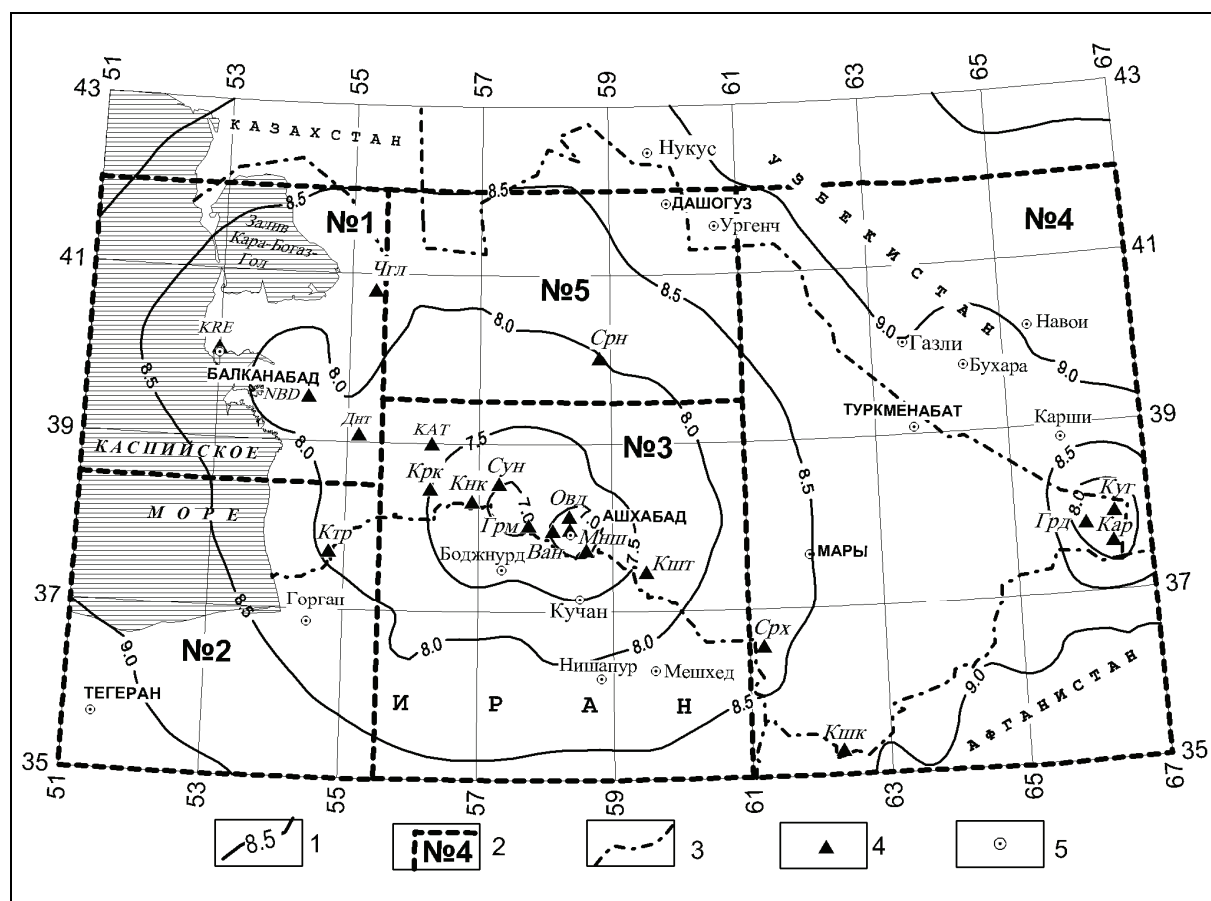


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений Копетдага K_{\min} по данным наблюдений в 2001 г.

1 – изолиния $K_{3\min}$; 2 – граница сейсмоактивного района; 3 – граница Туркменистана; 4 – сейсмическая станция; 5 – город.

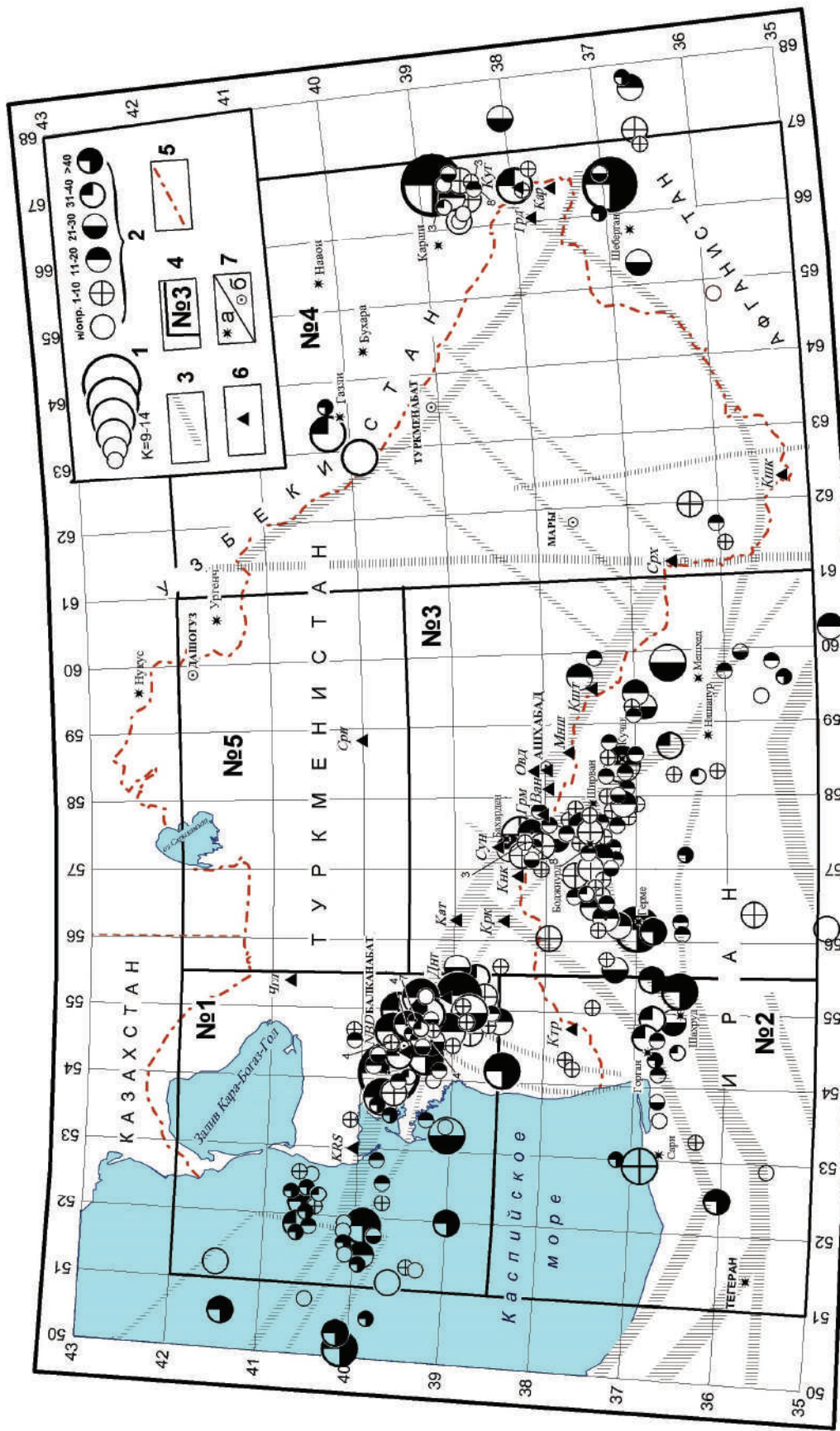


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага с $K_p \geq 8.6$ за 2001 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – физическая станция; 4, 5 – граница района и Туркменистана соответственно; 6 – сейсмическая станция; 7 – город (а) и областной центр (б) Туркменистана.

Согласно табл. 3, на территории Копетдагского региона в 2001 г. выделилось значительное количество сейсмической энергии ($4.08 \cdot 10^{14}$ Дж), уступающее за последние десять лет лишь максимальным значениям этой величины в годы возникновения Боджнурдского (27.02.1997 г. с $MS=6.7$ [7, 8]) и Балханского (06.12.2000 г. с $MS=7.3$ [9]) землетрясений. Суммарное число землетрясений на территории региона, равное 2601, близко к фоновым значениям 1992–1993 гг., когда не было ни интенсивной афтершоковой деятельности, ни сейсмических затиший. В 2001 г. наиболее значительные ($K_p \div 14$) сейсмические события произошли в Балхано-Каспийском районе и Восточном Туркменистане. Распределение параметров за 2001 г. представлено в табл. 4.

Таблица 3. Сводные данные о годовых числах землетрясений и суммарной энергии в регионе ($\varphi=35-42^\circ N$, $\lambda=51-67^\circ E$) за 1992–2000 гг.

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
2001	1982	383	158	54	19	2	1	2	–	–	2601	408.32

Таблица 4. Распределение по районам числа землетрясений разных классов K_p , суммарной сейсмической энергии ΣE и параметров сейсмического режима A_{10} и γ за 2001 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	175	59	19	10	1	–	–	–	–	265	81.43	0.53	0.122	8–12	
2	Эльбурский	17	12	6	3	–	–	–	–	–	38	0.56	0.30	0.039	9–11	
3	Туркмено-Хорасанский	161	60	23	3	1	–	–	–	–	248	1.72	0.57	0.060	8–12	
4	Восточный Туркменистан	30	27	6	3	–	1	1	–	–	68	324.61	0.34	0.021	9–13	
5	Центрально-Каракумский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	КОПЕТДАГ	383	158	54	19	2	1	2	–	–	619	408.32	0.58	0.0448	9–13	

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

Рассмотрим особенности развития сейсмического процесса по районам.

Балхано-Каспийский район (№ 1) выделяется на карте рис. 2 высокой плотностью эпицентров, сосредоточенной в зонах глубинных разломов, ориентированных с северо-запада на юго-восток.

В акватории Каспийского моря в течение года наблюдались умеренные ($K_p \div 11$) сейсмические события. Одно из них с $K_p=11.3$ ($h=27$ км) произошло 3 января в $11^h 05^m$ восточнее о. Огурджалы (рис. 3). Оно предварялось двумя форшоками с $K_p=9.1$ и 8.4 , возникшими за полтора часа до основного события, и имело два афтершока с $K_p=8.2$ и 8.5 .

Агентство ZUR для этого землетрясения опубликовало механизм очага [10], рассчитанного по методу тензора момента (ТМ).

Землетрясение произошло под действием сжимающих напряжений, ориентированных на северо-запад. Обе нодальные плоскости залегают достаточно круто. Плоскость $NP1$ более крутопадающая, чем $NP2$, и имеет северо-восточное простирание, плоскость $NP2$ – близмеридиональное (рис. 4). Тип движения в очаге – взброс с компонентами сдвига (по $NP1$ – правостороннего, по $NP2$ – левостороннего).

Таблица 5. Параметры механизма очага землетрясения 3 января в 11^h05^m с $K_p=11.3$

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	M_w	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		$NP1$			$NP2$		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
ZUR	03.01	11 05 40	18	4.5	44	185	42	34	15	290	231	72	135	338	48	24

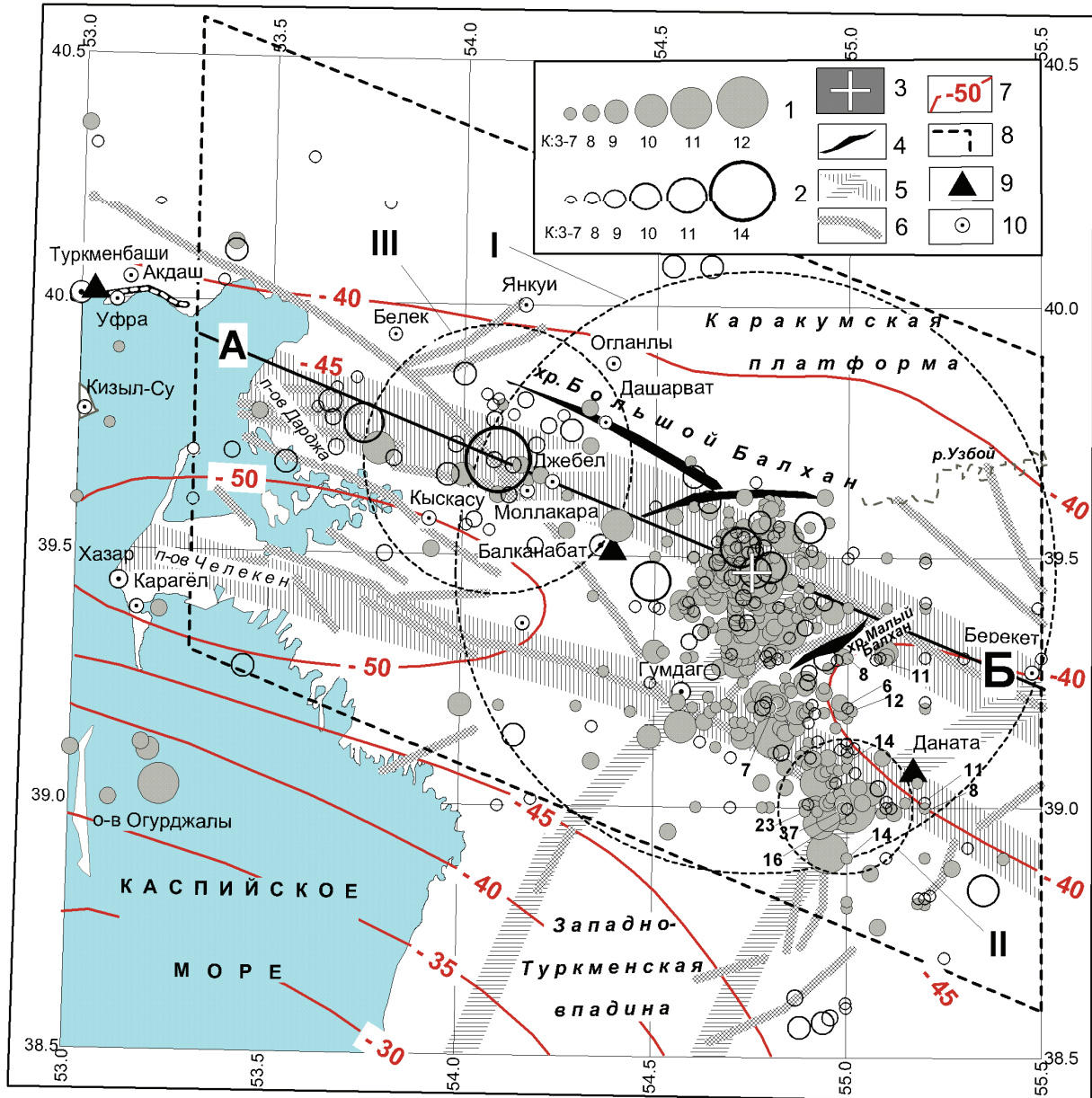


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Западного Туркменистана за 2001 г., демонстрирующая продолжающуюся афтершоковую активность очага Балханского землетрясения 6.12.2000 г. с $M_S=7.3$, а также фор- и афтершоковую деятельность Моллакаринского землетрясения 10 июня 2001 г. с $M_S=5.1$

1 – эпицентры землетрясений соответствующих классов за 01.01.– 10.06.2001 г.; 2 – то же за 11.06.–31.12.2001 г.; 3 – эпицентр Балханского землетрясения, 4 – оси хребтов Большого и Малого Балхана; 5 – сейсмогенные разломные зоны; 6 – разломы, выявленные по геолого-геофизическим данным [14]; 7 – изолинии границы Мохоровичича, согласно [15]; 8 – граница участка, для которого построено пространственно-временное распределение на рис. 4; 9 – сейсмическая станция, 10 – населенный пункт. Окружности I, II, III – зоны выборки для построения временных распределений чисел землетрясений и сейсмической энергии на рис. 5.

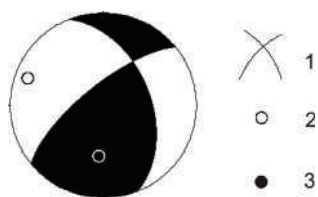


Рис. 4. Стереограмма механизма очага землетрясения 3 января с $K_p=11.3$ в проекции нижней полусферы

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

Землетрясение такого же класса ($K_p=11.3$) зарегистрировано 20 мая в 20^h29^m в западной части Каспия, за пределами Балхано-Каспийского района (рис. 2). Оно имело значительную глубину ($h=60$ км), как и третье землетрясение аналогичной энергии ($K_p=11.4$), произошедшее 1 июля в 16^h11^m. Ни одно из названных землетрясений не ощущалось в населенных пунктах прибрежной части Каспия.

На п-ве Дарджа 22 декабря в 04^h50^m произошло землетрясение с $K_p=10.6$ и $h=15$ км, которое ощущалось в Балканабате (60 км) с интенсивностью 2–3 балла (рис. 3).

Однако наибольшей сейсмической активностью в Балхано-Каспийском районе выделялась очаговая зона Балханского землетрясения 06.12.2000 г. [9], где продолжались афтершоки (рис. 3, 5). Контуры афтершоковой зоны повторяют, как видно из рис. 3, изгиб изолинии 40 км глубины залегания границы Мохоровичича, к которой приурочен гипоцентр основного толчка, и хотя большинство афтершоков лежит выше этой границы (рис. 2), нет сомнений в глубинной природе процессов, вызвавших Балханское землетрясение и его афтершоки. Другим интересным фактом пространственного распределения эпицентров афтершоков Балханского землетрясения в 2001 г. является то, что хр. Малый Балхан как бы разрезает асейсмичной полосой афтершоковую зону на две активные части (рис. 3), что наводит на мысль об относительно слабой сейсмичности внутренних частей поднятий.

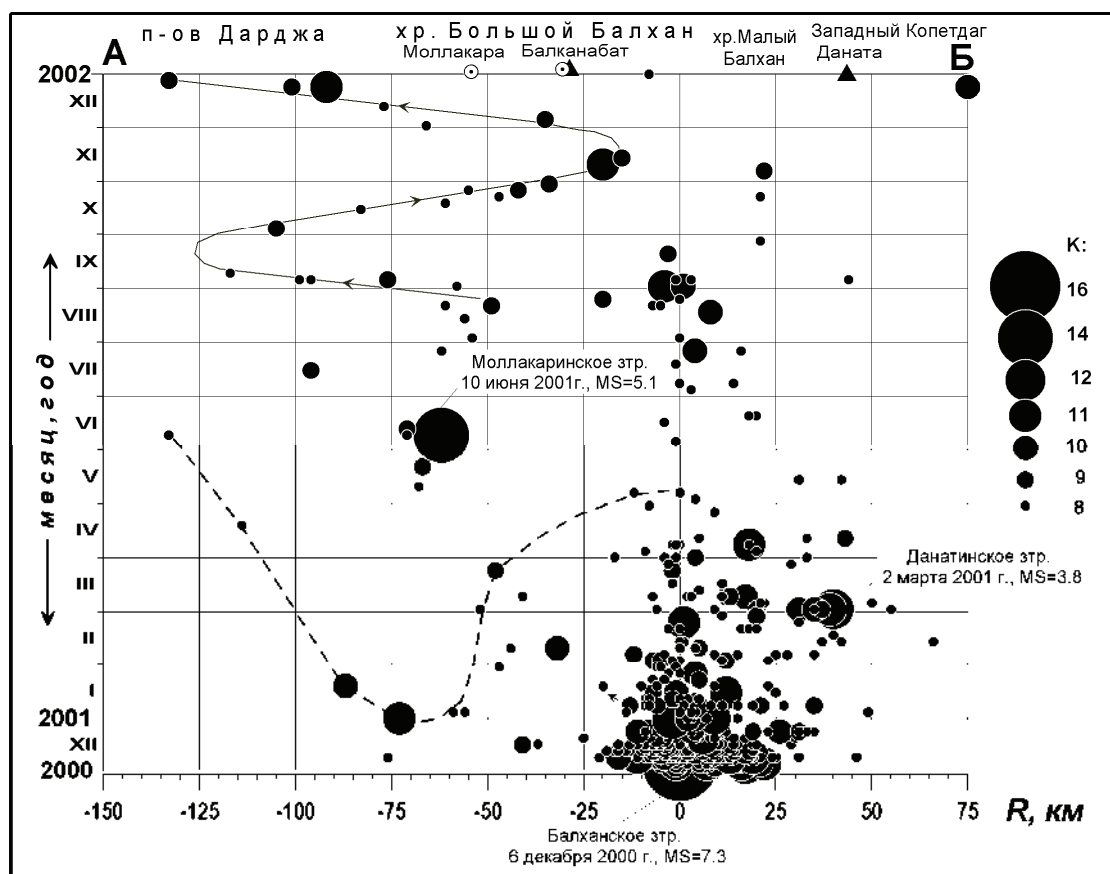


Рис. 5. Пространственно-временное распределение землетрясений Балхано-Каспийского района с $K_p \geq 7.6$, ооконтуренных параллелограммом 8 на рис.3, в проекции на линию АБ на том же рисунке (центр отсчета расстояний – эпицентр Балханского землетрясения)

Каталог фор- и афтершоков Балханского землетрясения с $K_p \geq 8.6$, произошедших в 2000–2001 гг. в радиусе 67 км от эпицентра основного толчка дан в табл. 6. Радиус афтершоковой зоны (67 км) выбран по формуле Утсу и Секи [11], адаптированной для Туркмении [12]:

$$\lg S = M - 3.15, \text{ км}^2.$$

Таблица 6. Каталог фор- и афтершоков с $K_p \geq 8.6$ Балханского землетрясения 6 декабря 2000 г., $M_S = 7.3$ (выборка за 2000–2001 гг. в радиусе 67 км от эпицентра)

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , м	K_p	№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , м	K_p
			φ° , N	λ° , E						φ° , N	λ° , E		
Форшоки							33	07.12	09 11 48	39.45	54.71	34	9.2
1	03.01	10 58 49	39.71	54.11	11	8.6	34	07.12	09 58 53	39.43	54.73	30	8.6
2	17.01	04 00 43	39.52	54.73	23	9.6	35	07.12	13 28 39	39.46	54.75	12	9.1
3	01.02	12 25 27	39.57	54.00	36	8.9	36	07.12	18 34 01	39.48	54.71	17	10.0
4	08.02	17 20 07	39.73	54.18	9	9.3	37	08.12	00 54 42	39.50	54.72	20	8.7
5	12.03	02 28 16	39.51	53.98	16	9.1	38	08.12	03 57 54	39.19	54.84	13	9.3
6	18.05	00 43 14	39.62	54.21	12	8.6	39	08.12	07 07 24	39.20	54.76	11	8.9
7	30.05	12 55 55	39.20	54.60	5	8.9	40	08.12	11 28 15	39.42	54.81	21	8.6
8	27.07	13 51 56	39.65	54.30	24	9.0	41	08.12	22 55 58	39.47	54.75	17	8.6
9	05.10	17 11 17	39.35	54.80	15	10.3	42	10.12	15 20 19	39.57	54.80	16	9.0
10	12.10	12 05 45	39.67	54.17	32	9.5	43	10.12	17 20 16	39.49	54.62	43	11.3
11	12.10	22 57 21	39.66	54.65	17	8.8	44	11.12	09 12 12	39.38	54.82	20	9.4
Основной толчок							45	11.12	09 48 45	39.44	54.67	16	9.6
	06.12	17 11 06	39.47	54.75	45	16.5	46	11.12	11 13 41	39.49	54.73	15	9.5
Афтершоки в 2000 г.							47	11.12	12 05 59	39.51	54.74	5	8.6
1	06.12	17 25 31	39.40	54.80	0	10.8	48	11.12	14 49 30	39.61	54.80	10	8.8
2	06.12	17 45 24	39.48	54.74	22	10.8	49	11.12	15 41 21	39.49	54.68	14	9.3
3	06.12	17 55 31	39.40	54.80	0	8.6	50	11.12	23 59 41	39.34	54.86	6	8.6
4	06.12	17 56 28	39.40	54.80	0	8.6	51	12.12	01 12 06	39.28	54.67	17	9.5
5	06.12	18 08 00	39.25	54.70	10	9.3	52	12.12	06 36 00	39.47	54.70	18	9.3
6	06.12	18 11 50	39.40	54.80	0	9.2	53	12.12	06 36 34	39.44	54.65	25	8.8
7	06.12	18 12 22	39.30	54.87	9	12.3	54	12.12	14 19 40	39.51	54.98	27	9.6
8	06.12	18 26 56	39.40	54.70	0	8.9	55	13.12	05 38 38	39.37	54.75	13	10.0
9	06.12	18 48 47	39.21	54.81	9	11.4	56	13.12	09 12 09	39.34	54.91	18	8.9
10	06.12	18 52 41	39.40	54.70	0	9.9	57	13.12	20 13 48	39.44	54.77	11	9.0
11	06.12	19 00 41	39.25	54.91	34	11.2	58	13.12	20 35 27	39.22	54.69	13	9.4
12	06.12	19 12 41	39.37	54.70	8	8.8	59	14.12	00 44 20	39.24	54.12	29	8.8
13	06.12	19 13 49	39.32	54.75	7	8.7	60	14.12	07 25 26	39.53	54.94	36	9.3
14	06.12	19 34 47	39.46	54.73	12	8.7	61	14.12	09 31 34	39.47	54.70	32	9.6
15	06.12	19 37 26	39.29	54.83	30	9.5	62	14.12	10 36 39	39.38	54.81	25	9.8
16	06.12	19 45 20	39.40	54.83	10	9.8	63	14.12	18 26 22	39.50	54.71	19	9.5
17	06.12	20 02 50	39.27	54.91	16	9.9	64	14.12	22 26 13	39.48	54.64	19	8.6
18	06.12	20 06 46	39.25	54.82	11	9.1	65	14.12	22 36 26	39.40	54.64	17	8.8
19	06.12	20 08 02	39.25	54.83	13	8.9	66	15.12	15 32 17	39.38	54.80	15	9.6
20	06.12	20 11 48	39.40	54.70	0	9.3	67	16.12	23 34 48	39.47	54.71	41	9.7
21	06.12	20 11 49	39.32	54.74	18	8.9	68	18.12	11 20 20	39.33	54.75	43	10.8
22	06.12	20 30 09	39.42	54.73	6	8.7	69	18.12	19 55 44	39.48	54.68	26	8.9
23	06.12	21 24 22	39.31	54.73	16	9.2	70	21.12	14 11 51	39.55	54.74	9	8.7
24	06.12	22 37 23	39.47	54.69	20	8.7	71	22.12	06 22 26	39.17	54.64	9	9.0
25	06.12	23 07 02	39.20	54.84	14	8.8	72	22.12	10 56 27	39.44	54.59	27	9.7
26	06.12	23 59 47	39.49	54.83	16	8.6	73	22.12	15 39 47	39.08	54.94	12	8.7
27	07.12	00 00 47	39.53	54.95	9	8.8	74	22.12	21 30 07	39.49	54.80	16	9.7
28	07.12	03 00 11	39.21	54.85	13	10.8	75	23.12	13 33 15	39.12	54.89	6	9.7
29	07.12	04 51 55	39.52	54.58	42	10.5	76	23.12	14 52 12	39.46	54.63	43	9.7
30	07.12	04 51 56	39.29	54.82	18	10.8	77	24.12	02 25 46	39.17	54.83	6	8.9
31	07.12	08 34 14	39.50	54.88	42	8.8	79	25.12	10 07 23	39.42	54.67	18	9.3
32	07.12	08 51 38	39.53	54.94	33	9.0	80	29.12	02 13 44	39.43	54.75	20	10.3
							81	30.12	15 07 10	39.56	54.77	42	11.9

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , м	K_p	№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , м	K_p
			φ° , N	λ° , E						φ° , N	λ° , E		
Афтершоки в 2001 г.							23	03.03	02 40 15	38.97	54.93	8	9.9
1	01.01	04 22 36	39.44	54.79	21	9.9	24	03.03	03 02 16	39.25	54.89	3	8.7
2	01.01	06 31 59	39.37	54.81	33	11.2	25	03.03	08 54 30	38.99	54.97	5	9.2
3	07.01	08 02 37	39.19	54.87	6	8.6	26	03.03	12 14 42	39.05	54.92	5	10.0
4	07.01	20 18 30	39.31	54.50	27	8.8	27	03.03	12 16 10	38.91	54.95	24	10.6
5	08.01	07 40 30	39.54	54.84	11	9.6	28	08.03	11 47 13	39.20	54.82	11	10.1
6	08.01	22 35 25	39.30	55.10	0	8.9	29	08.03	20 31 02	39.14	54.73	11	9.3
7	09.01	04 34 39	39.45	54.67	16	9.3	30	08.03	20 33 37	39.22	54.78	11	9.1
8	10.01	16 36 14	39.52	54.75	12	8.9	31	22.03	19 24 27	39.47	54.72	19	9.0
9	13.01	17 59 14	39.16	54.57	11	10.1	32	30.03	06 41 37	39.35	54.74	35	8.8
10	13.01	18 07 10	39.14	54.49	8	9.5	33	08.04	09 29 47	39.14	54.81	11	10.7
11	15.01	16 12 50	39.36	54.84	14	11.0	34	10.04	14 23 32	39.02	55.05	3	9.1
12	22.01	13 14 40	39.29	54.72	11	9.1	35	10.06	01 52 09	39.69	54.09	34	13.9
13	27.01	18 01 19	39.33	54.73	25	10.0	36	27.07	23 07 59	39.48	54.80	21	10.2
14	01.02	05 18 54	39.45	54.65	36	9.2	37	16.08	04 39 13	39.56	54.90	19	10.4
15	01.02	06 56 04	39.23	54.78	8	8.9	38	20.08	21 36 51	39.75	54.28	22	8.6
16	04.02	11 39 01	39.41	54.66	8	8.7	39	25.08	20 39 07	39.66	54.60	2	8.7
17	06.02	03 53 50	39.41	54.57	32	9.1	40	03.09	13 49 11	39.52	54.72	33	10.6
18	09.02	18 00 31	39.48	54.82	11	8.6	41	03.09	23 57 48	39.47	54.76	25	9.7
19	11.02	20 34 14	39.56	54.40	39	10.5	42	18.09	03 13 10	39.57	54.77	3	9.0
20	26.02	08 42 47	39.47	54.76	42	11.0	43	06.11	22 59 11	39.31	54.94	26	8.8
21	27.02	10 49 41	39.39	54.96	11	8.9	44	08.11	17 05 56	39.45	54.49	45	10.7
22	02.03	19 56 06	39.00	55.01	12	11.8	45	14.11	05 57 45	39.61	54.64	1	8.9
							46	04.12	05 33 09	39.14	54.14	12	8.8

Дальнейший анализ сейсмического процесса в Балхано-Каспийском районе проведен на трех площадках (I, II, III (рис. 3)), околуренных окружностями разных радиусов относительно эпицентра Балханского землетрясения (I), центра роя вблизи Даната (II) и эпицентра Моллакаринского землетрясения (III). Темпы выделения сейсмической энергии и распределения чисел землетрясений по однодневным интервалам в этих зонах демонстрирует рис. 6 (I–III).

Согласно приведенным данным, несмотря на скачкообразное спадание энергии и числа землетрясений, при максимальной интенсивности афтершокового процесса в первые 3.5 месяца 2001 г. (рис. 6-I) очаговая зона Балханского землетрясения оставалась активной до конца года, в течение которого здесь произошло 129 землетрясений с $K_p=8$, 26 – с $K_p=9$, 11 – с $K_p=10$, 7 – с $K_p=11$ и по одному с $K_p=12$ (2 марта в 19^h56^m с $K_p=11.8$) и $K_p=14$ (10 июня в 01^h52^m с $K_p=13.9$ [6]), что в сумме составляет 66% землетрясений Балхано-Каспийского района в целом с $K_p \geq 7.6$ за 2001 г. Землетрясение 10 июня, хотя и попало в анализируемую зону (I) радиусом 67 км, расположено в 65 км к западу от эпицентра Балханского землетрясения и, скорее всего, не относится к его афтершокам, а является самостоятельным землетрясением, хотя и вызвано, возможно, перераспределением напряжений в этой зоне. Оно рассмотрено отдельно.

Самый сильный афтершок Балханского землетрясения в 2001 г. был, таким образом, толчок с $K_p=11.8$, зарегистрированный 2 марта, который рассмотрен ниже. Некоторые афтершоки оказались ощутимыми. Два произошли в январе. Первый зарегистрирован вблизи г. Кумдаг 1 января в 17^h59^m с $K_p=10.1$, $h=11$ км. Расчетная интенсивность сотрясений в его эпицентре равна 4 баллам, наблюдаемая интенсивность в 3 балла замечена в Кумдаге (10 км) и Куйджике (15 км). Второй, возникший 15 января в 16^h12^m вблизи эпицентра основного толчка 2000 г., при большей энергии ($K_p=11.0$) и глубине ($h=14$ км), ощущался с интенсивностью 4–5 баллов в Айдине (5 км), 4 балла – в Перевале (15 км), 3–4 балла в Балла-Ишеме (30 км) и 3 балла – в Балканабате (45 км) [6]. Еще два афтершока ощущались в феврале: 11 февраля в 20^h34^m с $K_p=10.5$ ($h=39$ км) в 30 км к западу от эпицентра основного толчка и 26 февраля в 08^h42^m с $K_p=11.0$ ($h=42$ км) – непосредственно в его эпицентре. Поскольку оба землетрясения произошли на значительной глубине, они имели небольшую интенсивность сотрясений (2–3 балла в г. Балканабате). Во второй половине года зарегистрировано пять афтершоков с $K_p=10$ –11 (табл. 6, рис. 5). Лишь один из них, 3 сентября в 13^h49^m с $K_p=10.6$, ощущался с интенсивностью 2–3 балла в населенных пунктах Айдин (17 км), Перевал (28 км) и Балканабат (30 км) [6]. Для этого землетрясения определен механизм очага [13] по региональным данным (КОР) (табл. 7).

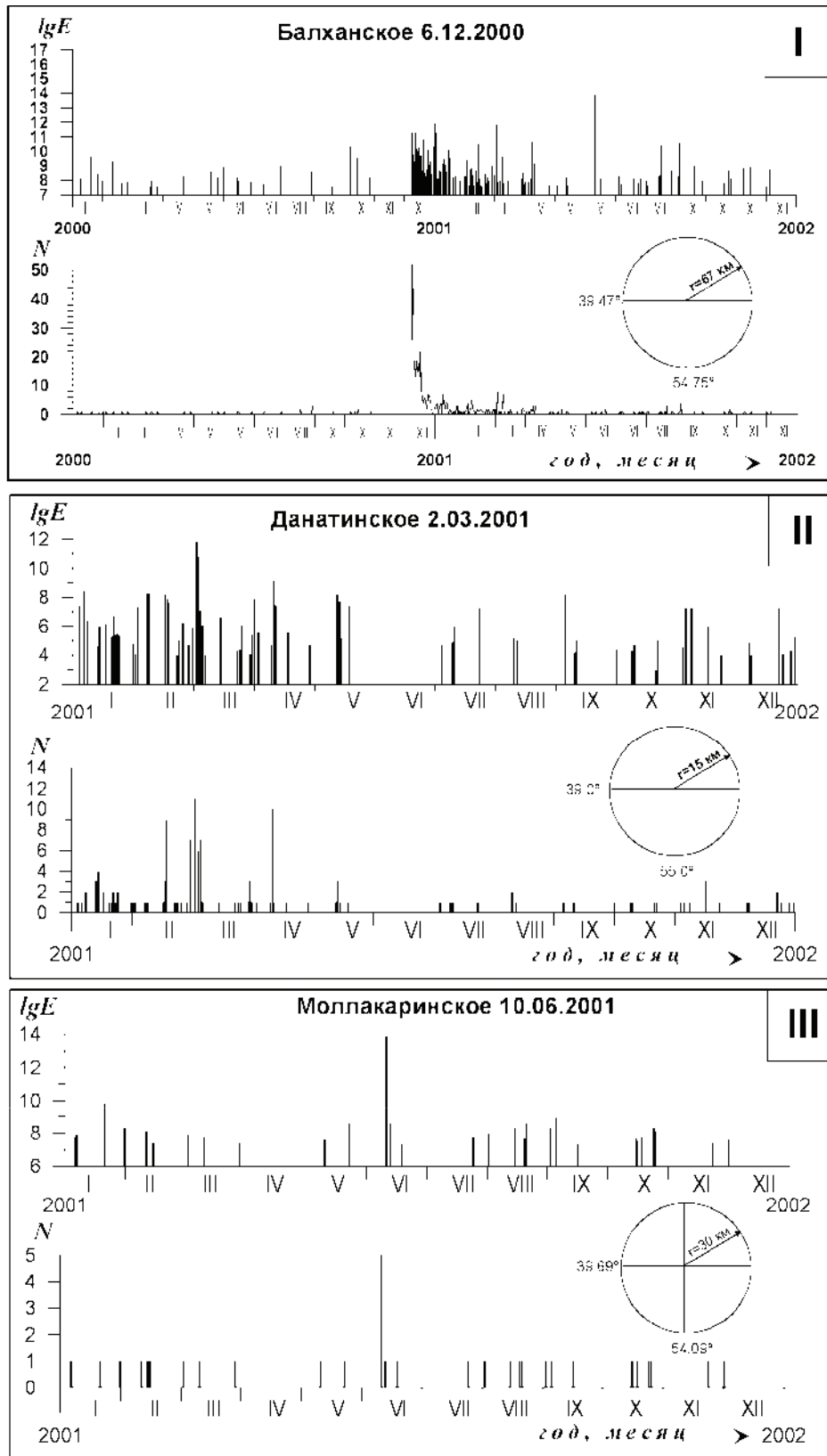


Рис. 6. Распределение по однодневным интервалам сейсмической энергии и чисел землетрясений на площадках:

- I – с $K_p \geq 7.6$ в радиусе 67 км от эпицентра Балханского землетрясения [39.47°N, 54.75°E] с $K_p=16.5$;
- II – с $K_p \geq 3.0$ в радиусе 15 км от эпицентра его афтершока 2 марта [39.00°N, 55.01°E] с $K_p=11.8$;
- III – с $K_p \geq 6.6$ в радиусе 30 км от эпицентра землетрясения 10 июня [39.69°N, 54.09°E] с $K_p=13.9$.

Таблица 7. Параметры механизмов очагов по региональным определениям [13] для землетрясений 6 марта в 12^h00^m с $K_p=10.3$, 3 сентября в 13^h49^m с $K_p=10.6$ и 2 ноября в 23^h23^m с $K_p=10.5$

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		$NP1$			$NP2$		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
КОР	06.03	12 00 41	12	10.3	1	331	65	64	26	239	200	70	-16	102	74	-160
КОР	03.09	13 49 11	33	10.6	56	214	3	121	26	27	118	72	92	276	10	74
КОР	02.11	23 23 24	20	10.5	60	65	33	247	2	330	34	56	130	270	54	48

Согласно табл. 7, оно произошло в условиях преобладания сжимающих напряжений (рис. 7). Тип движения по крутопадающей плоскости $NP1$ представляет собой взброс северного крыла разрыва, ориентация которого совпадает с положением Большебалханского разлома, по пологой плоскости $NP2$ – почти горизонтальный надвиг южного крыла субширотного разрыва с компонентами левостороннего сдвига. По тектоническим соображениям предпочтительнее представляется первое решение ($NP1$).

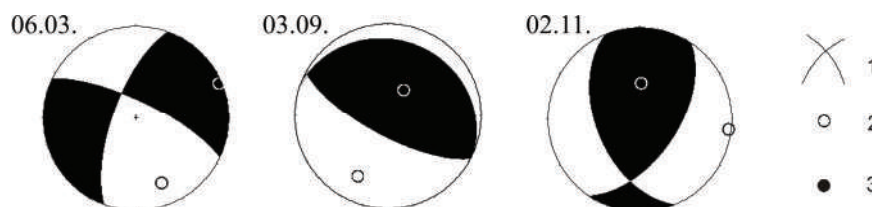


Рис. 7. Стереогаммы механизмов очагов по региональным определениям [13] для землетрясений 6 марта в 12^h00^m с $K_p=10.3$, 3 сентября в 13^h49^m с $K_p=10.6$ и 2 ноября в 23^h23^m с $K_p=10.5$ в проекции нижней полусферы

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

Землетрясение 2 марта, вызвавшее мартовский всплеск сейсмической энергии и числа землетрясений (рис. 6-I), локализовано на крайнем юго-востоке района № 1 в 15 км от пос. Даната (рис. 2). В январе–феврале в радиусе 15 км от него было зарегистрировано 49 слабых толчков с $K_p=3-8$, в марте – 54. Перед землетрясением 2 марта прошли два роя: двенадцать толчков 15–16 февраля (с $K_p=4-8$) и семь – 28 февраля (с $K_p=4-5$). За ним последовало, помимо слабых, несколько сильных толчков – один с $K_p=11$, два – с $K_p=10$. Все они произошли 3 марта. Трудно судить, являются ли эти события афтершоками землетрясения 2 марта или это самостоятельные события в рое землетрясений 2–6 марта, который состоял из 34 землетрясений с $K_p \geq 4$. Отметим, что роевые последовательности землетрясений являются характерной особенностью сейсмичности окрестностей Даната. Еще одна такая последовательность наблюдалась 9–11 апреля, когда произошло 12 толчков с $K_p=5-9$. Перед этим, 8 апреля в 09^h29^m, в $\Delta=7$ км к северо-западу от области выборки, представленной на рис. 6-II, зарегистрировано землетрясение с $K_p=10.7$, которое могло спровоцировать рой 9–11 апреля. Из рис. 6-II также видно, что не всегда повышение сейсмической энергии, выделившейся в анализируемой области (июль, август, декабрь), сопровождалось повышением числа землетрясений. С другой стороны, знаменателен тот факт, что роям землетрясений в окрестности Даната часто предшествовали сравнительно крупные сейсмические события на других участках афтершоковой зоны, как это было в феврале и апреле: перед роем 15–16 февраля произошло ошутимое землетрясение 11 февраля с $K_p=10.5$, перед роем 28 февраля – ошутимое землетрясение 26 февраля с $K_p=11$, перед роем 9–11 апреля – землетрясение 8 апреля с $K_p=10.7$, описанные выше.

В мае в очаговой зоне Балханского землетрясения, как и во всем Западном Туркменистане, наблюдалось относительное сейсмическое затишье (рис. 5), связанное, возможно, с последним этапом подготовки крупного землетрясения с $M_S=5.1$ и $K_p=13.9$, которое произошло 10 июня в 01^h52^m в юго-западных предгорьях Большого Балхана (рис. 6-III), в 10 км от курорта Моллакара. По выделившейся сейсмической энергии ($7.94 \cdot 10^{13}$ Дж) это землетрясение явилось

в Туркменистане самым крупным сейсмическим событием года. Из-за значительной глубины ($h=34$ км) расчетная интенсивность в эпицентре небольшая – 5–6 баллов. Наблюденная интенсивность составила 5 баллов в Моллакаре (10 км), 4 балла – Джебеле (12 км) и Балканабате (30 км), 3 балла – в г. Туркменбаши (97 км). Его эпицентр с точностью до 2 км совпадает с эпицентром Дюзмергенского землетрясения 19.07.1996 г. с $K_p=12.1$ [14], которое ощущалось в эпицентре с такой же интенсивностью благодаря меньшей глубине очага ($h_{\text{юм}}=18$ км).

Механизм очага Моллакаринского землетрясения (табл. 8) рассчитан в четырех центрах: по знакам первых вступлений Р-волн в НИИ сейсмологии Министерства строительства и промышленности строительных материалов Туркменистана, г. Ашхабад; по методу тензора момента в NEIC и ZUR; по методу тензора момента центроида в Гарвардском центре США (HRVD).

Таблица 8. Параметры механизма очага Моллакаринского землетрясения 10 июня в 01^h52^m с $K_p=13.9$ по данным четырех агентств

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	M_w	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
						T		N		P		$NP1$			$NP2$		
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
КОР	10.06	01 52 09	34		13.9	70	310	24	132	2	38	152	50	60	288	50	122
HRVD	10.06	01 52 11.1	57	5.4		71	337	14	114	13	207	315	35	116	105	59	73
NEIC	10.06	01 52 08.0	34	5.4		61	5	8	109	27	203	312	19	114	107	73	82
ZUR	10.06	01 52 08	36	5.4		72	342	12	111	13	204	104	59	76	310	33	112

Решения, выполненные в разных центрах, имеют как общие черты, так и различия (рис. 8). Плоскость $NP2$ ориентирована у КОР и ZUR в северо-западном направлении, а по HRVD и NEIC она имеет близширотное простирание. Плоскость $NP1$ по решению КОР ориентирована в юго-восточном направлении, по ZUR – восточном–юго-восточном, а по HRVD и NEIC – в северо-западном. Тип движений по плоскости $NP2$, по данным КОР, HRVD, NEIC, – взброс с компонентами сдвига, левостороннего у HRVD и NEIC и правостороннего у КОР. По решению ZUR движение по $NP2$ представлено надвигом с компонентами правостороннего сдвига; движение по $NP1$ – взброс по КОР и ZUR, с компонентами левостороннего сдвига, а по данным HRVD и NEIC – надвиг с компонентами правостороннего сдвига.

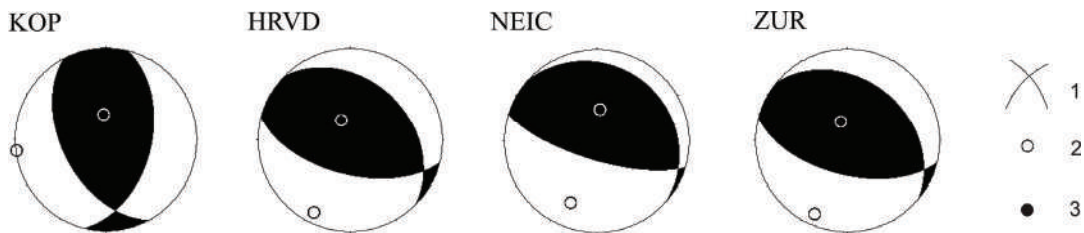


Рис. 8. Стереогаммы механизма очага землетрясения Моллакаринского землетрясения 10 июня с $K_p=13.9$ по данным четырех агентств в проекции нижней полусферы

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

Процессы подготовки и последствий этого землетрясения за 2001 г. отражены на графике пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений (рис. 5), а за 2000 г. – на рис. 6 в [9]. Надо отметить, что в период подготовки Балханского землетрясения, с января по октябрь 2000 г., в 30-км зоне вокруг эпицентра Моллакаринского землетрясения 2001 г., показанной на рис. 3, произошло восемь толчков с $K_p \geq 9$, что значительно превышает общее число его фор- и афтершоков с $K_p \geq 9$ в 2001 г. Эти события были квалифицированы в [9] как форшоки Балханского землетрясения, отмечающие западную границу зоны его подготовки. Очевидно, дестабилизация напряженного состояния в районе очага землетрясения 10 июня началась еще в 2000 г. и обусловлена теми же процессами, которые привели к возникновению в декабре 2000 г. неординарного по энергии Балханского землетрясения с $MS=7.3$.

Афтершоковый процесс Балханского землетрясения развивался в юго-восточном направлении, а в зоне подготовки землетрясения 10 июня, вероятно, продолжалась концентрация напряжений. На это указывает тот факт, что в январе–марте 2001 г. форшоки землетрясения 10 июня 7–8 энергетических классов группировались восточнее будущего очага, выделяя небольшую область затишья в центре зоны его подготовки (рис. 5). В апреле в зоне радиусом 30 км не было зарегистрировано ни одного толчка. В мае юго-западнее будущего землетрясения произошло два форшока с $K_p=8$ и 9 (рис. 5, 6-III, табл. 9), после чего наступила 14-дневная сейсмическая пауза, завершившаяся основным толчком 10 июня с $K_p=13.9$.

Таблица 9. Основные параметры фор- и афтершоков Моллакаринского землетрясения 10 июня в 01^h52^m с $K_p=13.9$ (выборка в радиусе 30 км от эпицентра)

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , м	K_p	№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , м	K_p
			φ° , N	λ° , E						φ° , N	λ° , E		
Форшоки													
1	04.01	06 08 05	39.68	54.15	20	7.8	3	10.06	06 08 39	39.72	53.98	13	8.4
2	05.01	03 38 56	39.62	54.09	21	7.9	4	10.06	08 40 36	39.80	54.10	13	6.8
3	19.01	22 43 10	39.71	53.78	9	9.8	5	12.06	00 17 11	39.66	53.96	19	8.6
4	29.01	21 13 12	39.81	54.34	25	8.3	6	18.06	00 09 24	39.55	54.07	24	7.3
5	09.02	21 50 55	39.72	54.33	36	8.1	7	24.07	14 36 22	39.69	54.08	15	7.8
6	12.02	18 33 01	39.62	54.27	34	7.4	8	01.08	17 36 44	39.76	54.22	26	8.0
7	13.02	02 48 00	39.65	54.17	36	7.4	9	14.08	12 13 13	39.62	54.12	31	8.3
8	02.03	19 53 16	39.66	54.20	36	7.9	10	19.08	01 25 30	39.81	54.16	13	7.7
9	10.03	16 49 02	39.55	54.27	41	7.8	11	20.08	21 36 51	39.75	54.28	22	8.6
10	28.03	00 44 41	39.80	54.10		7.4	12	01.09	21 16 29	39.68	54.13	27	8.3
11	10.05	23 51 21	39.51	53.92	26	7.6	13	04.09	05 11 23	39.86	54.00	15	8.9
12	22.05	11 49 58	39.66	54.00	31	8.6	14	15.09	22 39 39	39.56	54.01	45	7.3
Основной толчок													
	10.06	01 52 09	39.69	54.09	34	13.9	15	14.10	14 11 01	39.69	53.82	22	7.7
Афтершоки													
1	10.06	03 14 28	39.82	54.06	9	7.2	16	15.10	17 47 09	39.78	54.26	23	7.5
2	10.06	05 50 12	39.80	54.10		6.8	17	17.10	21 56 14	39.57	54.03	15	7.8
							18	23.10	03 35 52	39.52	54.19	42	8.3
							19	24.10	18 58 21	39.72	54.19	23	8.1
							20	22.11	16 50 06	39.78	54.13	5	7.4
							21	30.11	09 15 31	39.77	54.08	11	7.6

Афтершоковый процесс после Моллакаринского землетрясения был довольно вялым – шесть афтершоков 7–9 энергетических классов в июне и еще пятнадцать до конца года. Всего в афтершоковой серии зарегистрировано шесть толчков с $K_p=7$, одиннадцать – с $K_p=8$ и три – с $K_p=9$ (табл. 9). Небольшое число афтершоков или их полное отсутствие – характерная черта землетрясений Кубадаг-Большебалханского тектонического блока, что отмечалось при анализе афтершоковой деятельности Дюзмергенского [14], Янгаджинского [15] и других землетрясений. Еще одной особенностью землетрясений этого района является миграция эпицентров землетрясений вдоль основных разломов и колебательный характер активизации сейсмичности [16], что демонстрирует и рис. 5 в период после Моллакаринского землетрясения.

В Эльбурском районе (№ 2) сейсмическая активность, равная $A_{10}=0.039$, ниже таковой в 2000 г. ($A_{10}=0.049$ [1]), что обусловлено не только отсутствием землетрясений 12-го энергетического класса в 2001 г., но и уменьшением числа землетрясений всех энергетических классов, кроме 11-го (табл. 4 в наст. статье, табл. 5 в [1]).

Первое из трех землетрясений 11-го класса произошло 16 мая в 07^h24^m ($K_p=10.9$) на южном побережье Каспия, в 27 км северо-западнее иранского г. Сари. Оно имело незначительную глубину ($h=10$ км) и расчетная интенсивность в его эпицентре равна 5 баллам, однако из-за удаленности от границ Туркменистана не ощущалось на его территории.

Самое сильное землетрясение года в Эльбурском районе произошло 2 июня в 15^h57^m с $K_p=11.5$ на территории Туркменистана на границе районов № 1 и № 2 (рис. 2). Эпицентр расположен в довольно необычном месте – в центре Западно-Туркменской впадины, отличающейся слабой сейсмичностью. Согласно определению глубины гипоцентра по инструментальным данным ($h=45$ км), землетрясение подкоровое, т.к. в месте эпицентра толщина земной коры составляет 35 км [17].

Для землетрясения 2 июня имеется решение механизма очага [10] по данным ZUR (табл.10).

Таблица 10. Параметры механизма очага землетрясения 2 июня в 15^h57^m с $K_p=11.5$

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	M_w	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		$NP1$			$NP2$		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
ZUR	02.06	15 57 42	24	4.6	76	121	11	267	7	359	259	53	76	102	39	108

Согласно этому решению, движение в его очаге возникло под действием сжимающих напряжений, ориентированных на север. Обе плоскости залегают достаточно круто и простираются в близширотном направлении (рис. 9). Тип движения – взброс с компонентами сдвига (по плоскости $NP1$ – левостороннего, по плоскости $NP2$ – правостороннего).

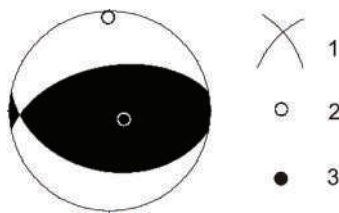


Рис. 9. Стереодиаграмма механизма очага землетрясения 2 июня с $K_p=11.5$ в проекции нижней полусферы

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

Во второй половине года повысилась сейсмическая активность в районе иранских городов Горган и Шахруд, где максимальным было землетрясение 11 декабря в 03^h45^m восточнее Шахруда с $K_p=10.6$ и несколько землетрясений 9 и 10 класса.

В **Туркмено-Хорасанском районе (№ 3)** сейсмическая активность существенно понизилась: величина сейсмической активности в единицах A_{10} оказалась равной 0.06, тогда как в 2000 г. $A_{10}=0.17$ [1]. При этом в 2–3 раза уменьшилось как число слабых землетрясений, так и более сильных, с 8 по 11 класс. Это снижение в основном обусловлено затуханием афтершокового процесса после землетрясения 22.08.2000 г. с $K_p=13.8$ южнее Бахардена (рис. 10), которое имело в своей афтершоковой серии в 2000 г. три землетрясения с $K_p=13$ и множество толчков с меньшей энергией [1]. Афтершоковый процесс продолжался и в 2001 г., в результате чего Южно-Бахарденская зона оставалась наиболее активной в пределах Туркмено-Хорасанского района (рис. 10, 11а). В течение года в радиусе 25 км от самого крупного афтершока 2001 г. – землетрясения 4 марта в 16^h46^m с $K_p=10.8$ – произошло 727 толчков с $K_p \geq 5.6$. Среди них, помимо события 4 марта, зарегистрированы четыре землетрясения с $K_p=10$, десять – с $K_p=9$, пятьдесят – с $K_p=8$. В марте в этой зоне выделилось максимальное, по сравнению с другими месяцами 2001 г., количество сейсмической энергии (рис. 11а), что обусловлено возникновением трех землетрясений, произошедших 4 марта в 16^h46^m с $K_p=10.8$, 6 марта в 12^h00^m с $K_p=10.3$ и 17 марта в 11^h03^m – с $K_p=10.4$.

Для землетрясения 6 марта есть региональное решение механизма очага (табл. 7), согласно которому землетрясение возникло под действием превалирования напряжений растяжения, ориентированных в северо-западном направлении (рис. 7). Обе нодальные плоскости имеют крутое падение, простирание $NP1$ – близмеридиональное, простирание $NP2$ – близширотное. Тип движения по обеим плоскостям – сдвиги с компонентами сброса (по $NP1$ – левосторонний, по $NP2$ – правосторонний).

Как видно из рис. 10, эпицентры землетрясений Южно-Бахарденской зоны, как и в 2000 г., образуют облако афтершоков, вытянутое с юго-юго-запада на северо-северо-восток. Простирание облака близко к ориентации плоскости $NP1$ механизма очага землетрясения 6 марта. Эту зону пересекает узкая полоса сейсмических событий, протягивающаяся в субширотном направлении, от станции «Кёнекесир» до станции «Ванновская», совпадающей с ориентацией проекции плоскости $NP2$ землетрясения 6 марта на поверхность Земли.

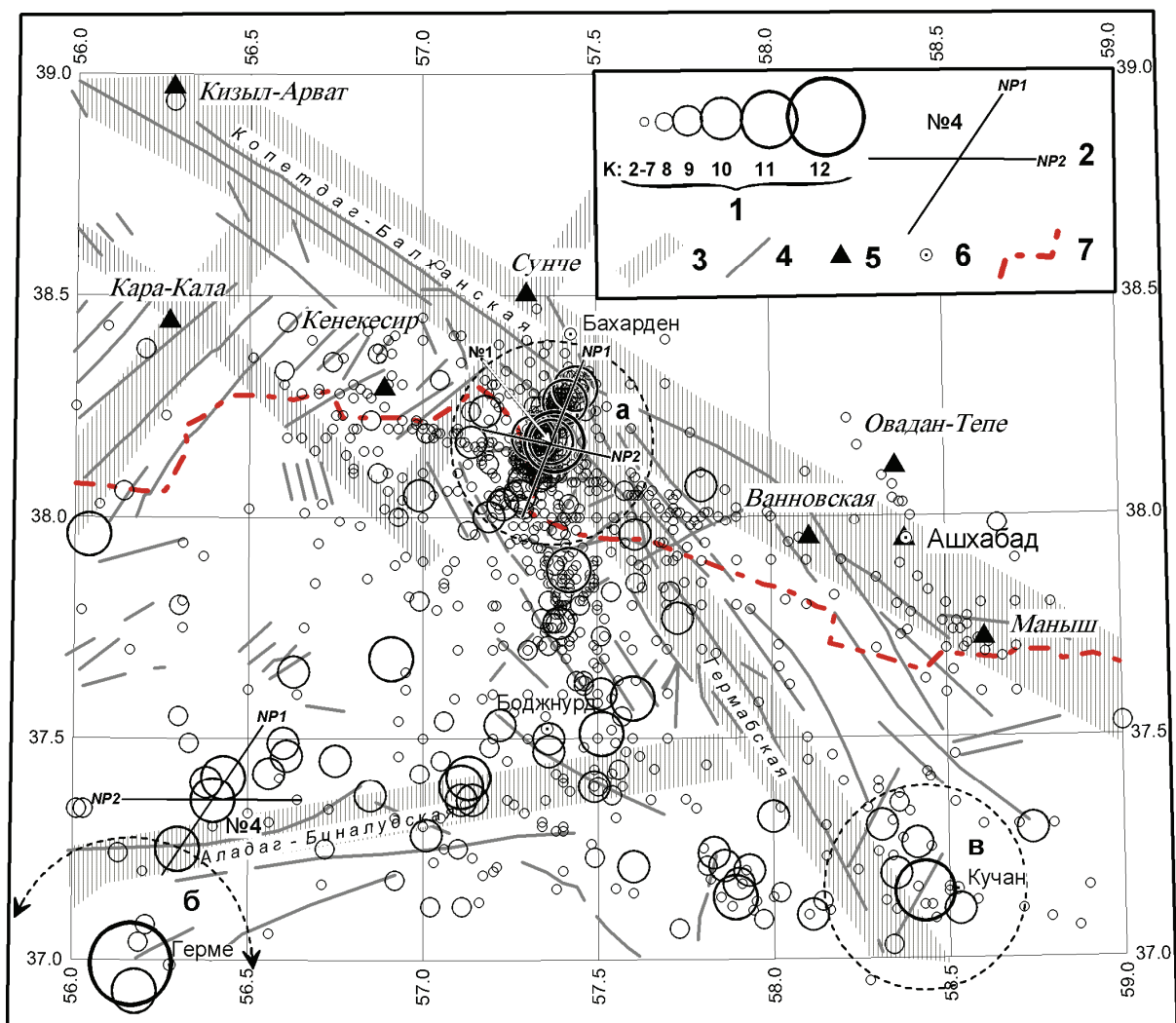


Рис. 10. Карта эпицентров всех землетрясений Туркмено-Хорасанского района за 2001 г.

1 – энергетический класс; 2 – ориентация нодальных плоскостей; 3 – крупные сейсмогенные зоны по [18]; 4 – разломы по [19]; 5 – сейсмическая станция; 7 – государственная граница. Окружности оконтуривают зоны выборки землетрясений для рис. 11.

В 2001 г. продолжалась сейсмическая деятельность в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с $M_S=6.8$ [7]. Непосредственно в его очаге группировались слабые сейсмические события, среди которых самым крупным было событие 29 июля в 06^h11^m с $K_p=9.6$. То, что через 14 часов после него в Южно-Бахарденской зоне произошло землетрясение близкой энергии ($K_p=9.8$), возможно, свидетельствует о единстве тектонического процесса в этих зонах. В окрестностях иранского г. Боджнурд максимальными были землетрясения 4 марта в 19^h41^m с $K_p=10.2$ и 16 мая в 15^h59^m с $K_p=10.3$, а также дуплет событий 15 июня в 09^h38^m и 10^h43^m с $K_p=10.1$ и 9.7 . Все эти землетрясения, с учетом ошибок определения координат эпицентров, можно отнести к Аладаг-Биналудской сейсмогенерирующей структуре (рис. 10).

Самым крупным сейсмическим событием года на территории Туркмено-Хорасанского района явилось землетрясение 11 мая в 09^h45^m с $K_p=12.0$, произошедшее вблизи иранского г. Герме (рис. 2, 10). Несмотря на значительную энергию основного толчка, оно сопровождалось небольшим числом афтершоков с $K_p=7-10$ (рис. 10, 11б). В феврале и апреле были зарегистрированы два форшока с $K_p=8.2$ и $K_p=7.3$, затем, после месячной паузы, 11 мая, произошел основной толчок, а следом за ним – два крупнейших афтершока с $K_p=9.9$ – в 10^h01^m и 23^h21^m соответственно. Еще три афтершока с $K_p=8$ (два – 15 мая и один 23 мая) завершили афтершоковую серию землетрясений представительного уровня ($K_{3min}=7-8$).

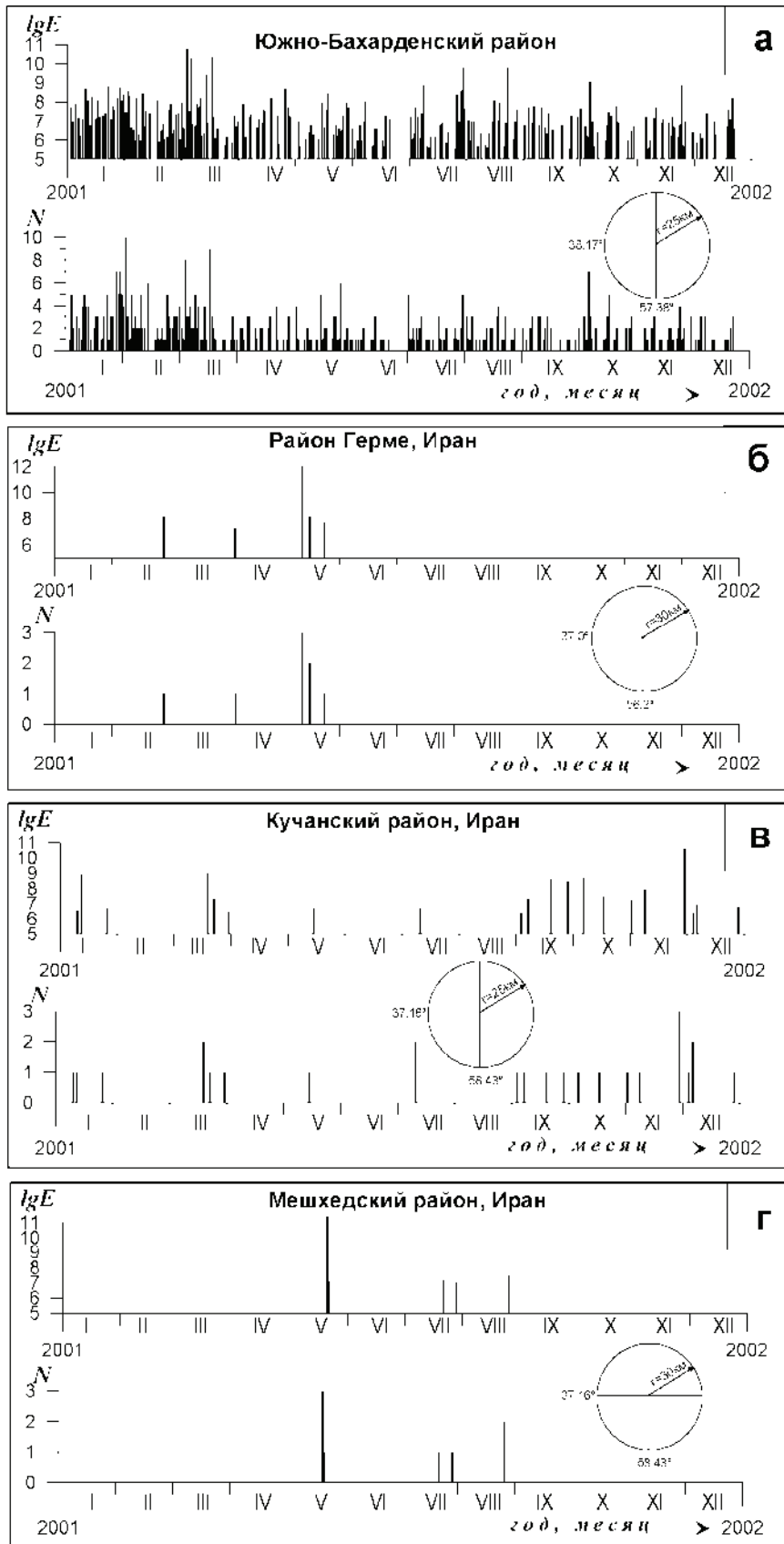


Рис. 11. Распределение по однодневным интервалам выделившейся сейсмической энергии и чисел землетрясений с $K_p \geq 5.6$ в очаговых зонах землетрясений, произошедших в Туркмено-Хорасанском районе 4 марта в 16^h46^m с $K_p=10.8$ (а), 11 мая в 09^h45^m с $K_p=12.0$ (б), 28 ноября в 04^h54^m с $K_p=10.6$ (в), 20 мая в 12^h37^m с $K_p=11.4$ (г) (радиусы зон выбраны с учетом группирования афтершоков)

К северу от г. Герме, в 44 км от него, 2 ноября в 23^h23^m произошло землетрясение с $K_p=10.5$ (рис. 2, 10). Движение в его очаге возникло под действием сжимающих напряжений, ориентированных на северо-запад (табл. 7). Обе нодальные плоскости имеют крутое падение, одна из них $NP1$ простирается в северо-восточном направлении, другая – $NP2$ – в широтном направлении (рис. 7). Тип движения по обеим плоскостям – взброс с компонентами сдвига (по плоскости $NP1$ – правостороннего, по плоскости $NP2$ – левостороннего). К его афтершокам можно отнести землетрясение 12 ноября в 10^h05^m с $K_p=9.0$ на расстояниях 17–23 км от эпицентра основного толчка и два декабрьских толчка с $K_p=7$ и 8.

20 мая в 13^h27^m произошло землетрясение с $K_p=11.4$ в 40 км к северу от иранского г. Мешхед (рис. 2). В радиусе 30 км от эпицентра (рис. 11 г) было зарегистрировано семь афтершоков с $K_p=7-8$ и ни одного форшока. Два афтершока с $K_p=7$ и один – с $K_p=8$ произошли в течение часа после основного толчка, остальные зарегистрированы в июле и августе 2001 г.

21 октября в 08^h38^m на территории Туркменистана, в 23 км северо-восточнее станции «Каушут», произошло землетрясение с $K_p=10.1$ (рис. 2). Район Каушута отличается слабой сейсмической активностью ($A_{10}<0.05$), поэтому неудивительно, что в течение года в радиусе 30 км от эпицентра указанного землетрясения зарегистрировано лишь одно сейсмическое событие – 19 августа в 02^h40^m с $K_p=8.6$. Отметим, что, несмотря на низкую частоту повторения, здесь известны землетрясения и более высоких энергий, максимальное из которых (с $K_p=13.6$) произошло 27.11.1992 г. в 21^h09^m [20].

В течение года вокруг иранского г. Кучан наблюдалась довольно интенсивная сейсмическая деятельность (рис. 10, 11 в). До сентября здесь с двухмесячным интервалом повторялись «вспышки» сейсмической активности, содержащие до четырех землетрясений с $K_p=6-9$. С сентября сейсмические события участились, что, вероятно, предшествовало основному толчку 28 ноября в 04^h54^m с $K_p=10.6$, имевшему шесть афтершоков с $K_p=6-7$.

Юго-восточнее, между Кучаном и Мешхедом, 21 ноября в 03^h10^m было зарегистрировано землетрясение с $K_p=10.5$ (рис. 2). Оно имело несколько форшоков, произошедших на расстояниях менее 25 км: один с $K_p=9$ произошел в апреле, два с $K_p=8$ – в мае, и три с $K_p\leq 7$ – в январе, мае и ноябре. Афтершоковая серия содержала всего три зарегистрированных сейсмических события с довольно высокой энергией: через три часа после основного события произошел повторный толчок с $K_p=8.0$, а затем после месячной паузы два сильных афтершока: 18 декабря в 23^h23^m с $K_p=10.2$ и 24 декабря в 16^h24^m с $K_p=9.4$, завершивших перечень землетрясений (с $K_p\geq 9$) на территории Туркмено-Хорасанского района в 2001 г.

В **Восточном Туркменистане (№4)** оставались активными основные очаговые зоны, проявившие себя и в 2000 г. [1] – Гаурдакская и Серахская на территории Туркменистана, Камашинская, Газлийская и Северо-Афганская за его пределами (рис. 2).

Как и в предыдущие два года, максимальной сейсмической активностью в районе №4 выделялась Камашинская очаговая зона [21], где 18 января 2001 г. в 08^h41^m произошло землетрясение с $K_p=14.5$, сопровождаемое большим числом афтершоков. В радиусе 70 км от его эпицентра, начиная с момента возникновения первого из триплета Камашинских-I, II, III землетрясений 1999–2001 гг., выделившаяся сейсмическая энергия постоянно нарастала (рис. 12): $E=4.04\cdot 10^{13}$ Дж в 1999 г., $E=6.39\cdot 10^{13}$ Дж в 2000 г. и $E=31.63\cdot 10^{13}$ Дж в 2001 г., что связано с землетрясениями 14 класса и их афтершоками, происходившими в одном и том же очаге: 31.10.1999 г. ($K_p=13.6$), 20.04.2000 г. ($K_p=13.8$) [1, 21] и, наконец, 18 января 2001 г. в 08^h41^m, ($K_p=14.5$).

Землетрясение 18 января 2001 г. ощущалось на территории Туркменистана (Талимарджан, Свинцовый рудник (110 км), Магданлы (125 км) – 4–5 баллов; Туркменабат (260 км) – 3 балла). По числу и особенно энергии афтершоков оно значительно уступало главному событию 2000 г. (рис. 12): в радиусе 70 км от точки с координатами 38.70°N, 66.65°E в 2000 г. произошло 20 афтершоков с $K_p=8$, 30 – с $K_p=9$, 11 – с $K_p=10$, 2 – с $K_p=11$ и один – с $K_p=12$, тогда как в 2001 г. – 24 афтершока – с $K_p=8$, 18 – с $K_p=9$, и 4 – с $K_p=10$. К ноябрю 2001 г. сейсмическая деятельность в Камашинской очаговой зоне практически прекратилась, а в последующие годы возобновилась на гораздо более низком энергетическом уровне (рис. 12).

Второе по величине землетрясение на территории района №4 произошло 17 апреля в 05^h08^m с $K_p=12.9$ на афганской территории, восточнее г. Шеберган (рис. 2). По данным сейс-

мической службы Туркменистана, оно имело, по крайней мере, два афтершока с $K_p=9$, произошедших 19 апреля и 3 июня. Основной толчок 17 апреля произошел на значительной глубине ($h=42$ км) и ощущался на территории Туркменистана: Карлюк (70 км), Магданлы (104 км), Койтен (110 км) с интенсивностью 3–4 балла.

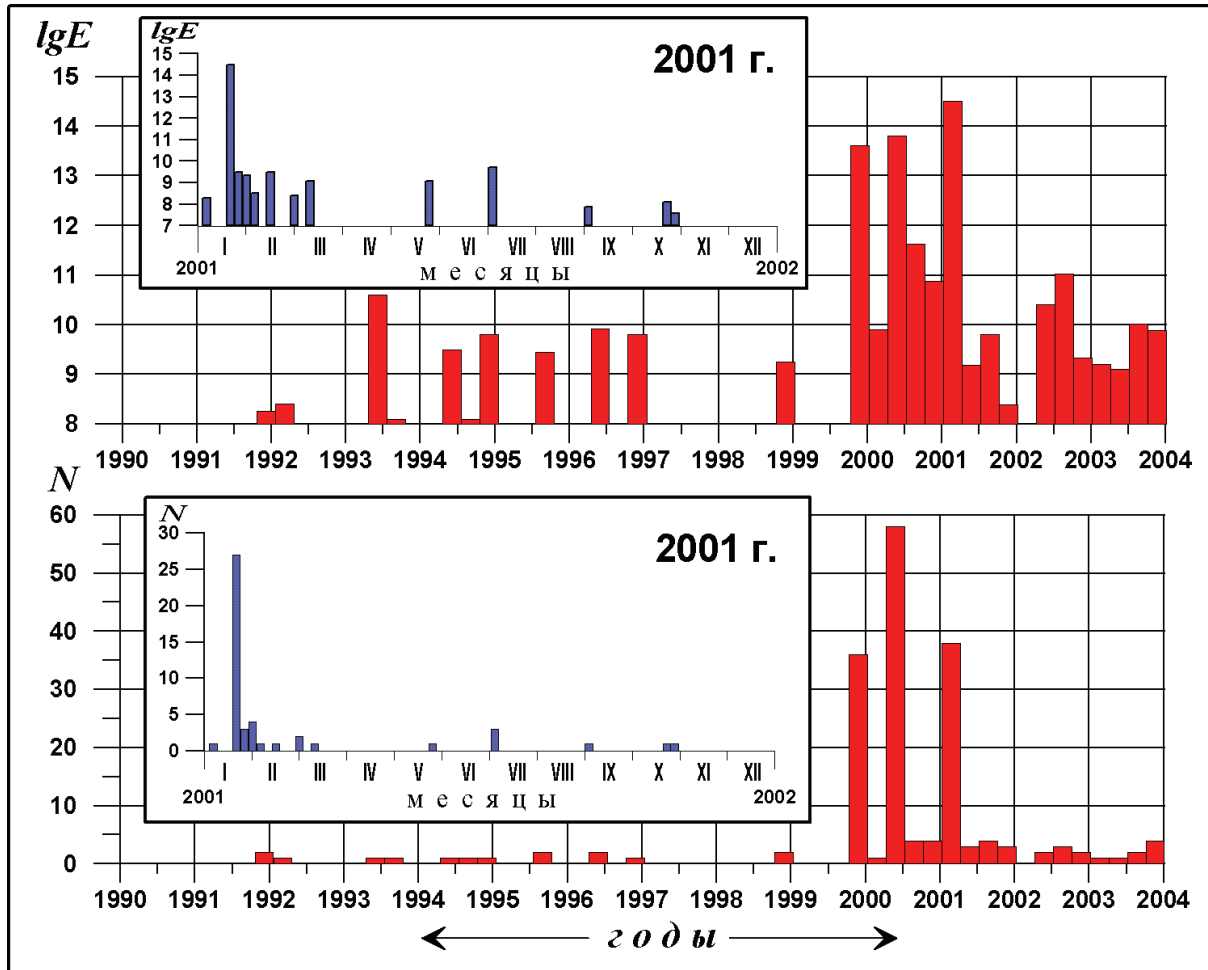


Рис. 12. Распределения по 5-дневным интервалам в 2001 г. и 3-месячным в 1990–2003 гг. выделившейся сейсмической энергии (lgE) и количества землетрясений с $K_p \geq 7.6$ (N) в радиусе 70 км от эпицентра Камашинского-III землетрясения 18 января 2001 г. с $K_p=14.5$.

8 мая в 11^h45^m на территории Туркменистана, в районе сейсмической станции «Кугитанг», зарегистрировано землетрясение с $K_p=10.7$. Оно имело глубину $h=35$ км, расчетную интенсивность сотрясений в эпицентре – менее 3 баллов. Этому землетрясению предшествовала активизация сейсмичности в начале года, с 18 января по 2 февраля 2001 г., когда в радиусе менее 25 км от эпицентра будущего главного толчка произошло пять толчков с $K_p=7\div 9$. Последний из них, 8 февраля в 06^h06^m, был самым крупным ($K_p=8.6$). Еще один форшок с $K_p=8.4$ произошел 18 апреля в 21^h00^m. Среди четырех афтершоков, также с $K_p=7\div 9$, зарегистрированных в период с июня по ноябрь, максимальный, с $K_p=8.9$, произошел 3 сентября в 19^h38^m.

В Газлийской очаговой зоне в конце года возникло два сейсмических события 11 энергетического класса: 20 сентября в 23^h36^m с $K_p=11.3$ и 31 октября в 02^h32^m с $K_p=10.9$.

21 сентября в 04^h11^m в очаговой зоне южнее Серахса зарегистрирован толчок с $K_p=9.6$, который не имел афтершоков, однако предварялся пятью форшоками с $K_p=7\div 9$, расположенными юго-западнее.

В целом по Копетдагу сейсмическая активность, общее число землетрясений и число землетрясений отдельных энергетических классов в диапазоне $K_p=8\div 13$ понизились примерно вдвое, по сравнению с предыдущим годом (табл. 3).

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 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 95–109.
2. Рахимов А.Р., Славина Л.Б. Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
3. 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.
4. 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.
5. Голинский Г.Л. Уравнения макросейсмического поля землетрясений Туркмении // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1977. – № 1. – С. 69–74.
6. 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. Копетдаг. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
7. 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. 199–218.
8. 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.
9. 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.
10. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2001.** – Berkshire: ISC, 2002–2003.
11. Utsu T., Seki A. A relation between the area of aftershock region and energy of main shock // Zisin. – 1954. – 7. – № 7. – P. 233–240.
12. Голинский Г.Л., Городкова Т.Н., Курбанов М., Лыков В.И., Одеков О.А., Рахимов А.Р. Туркмения // Сейсмическое районирование территории СССР. – М.: Наука, 1980. – С. 147–162.
13. Аннаорова Т.А., Безменова Л.В., Чепкунас Л.С. (отв. сост.). Копетдаг. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
14. Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р. Дюзмергенское землетрясение 19 июля 1996 года, $MS=4.1$, $I_0=5-6$ (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ГС РАН, 2002. – С. 190–197.
15. Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М. Янгаджинское землетрясение 1 июля 1994 года // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. – М.: ГС РАН, 2000. – С. 142–146.
16. Ахмедова С.В., Петрова Н.В. Сейсмические затишья и миграция эпицентров землетрясений в Западной Туркмении // Известия АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1990 – № 2. – С. 56–63.
17. Ишутин В.В., Лыков В.И., Одеков О.А. Геотектонические особенности глубинной структуры Туркменистана // Изв. АН ТССР. – Сер. ФТХиГН. – 1970. – № 2. – С. 106–113.
18. **Test Area for Seismic Hazard Assessment in the Caucasus. Final report.** Ашхабад: Фонды НИИС Туркменистана, 1997. – 50 с.
19. **Berberian M.** Historical Seismicity (pre 1900) Map of Iran (Scale 1:5000000) // Geological Survey of Iran, Tectonic-Seismotectonic Research Section, 1977.
20. Аннаорова Т.А., Голинский Г.Л., Карриев Б.С., Петрова Н.В. Сейсмичность Туркменистана в 1992 г. // Сейсмологический бюллетень Туркменистана. Вып. 2.– Ашхабад: ЫЛЫМ, 1994. – С. 83–92.
21. Михайлова Р.С. Камашинское-II землетрясение 20 апреля 2000 года с $M_w=5.3$, $I_0=5-6$ (Узбекистан) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 254–264.