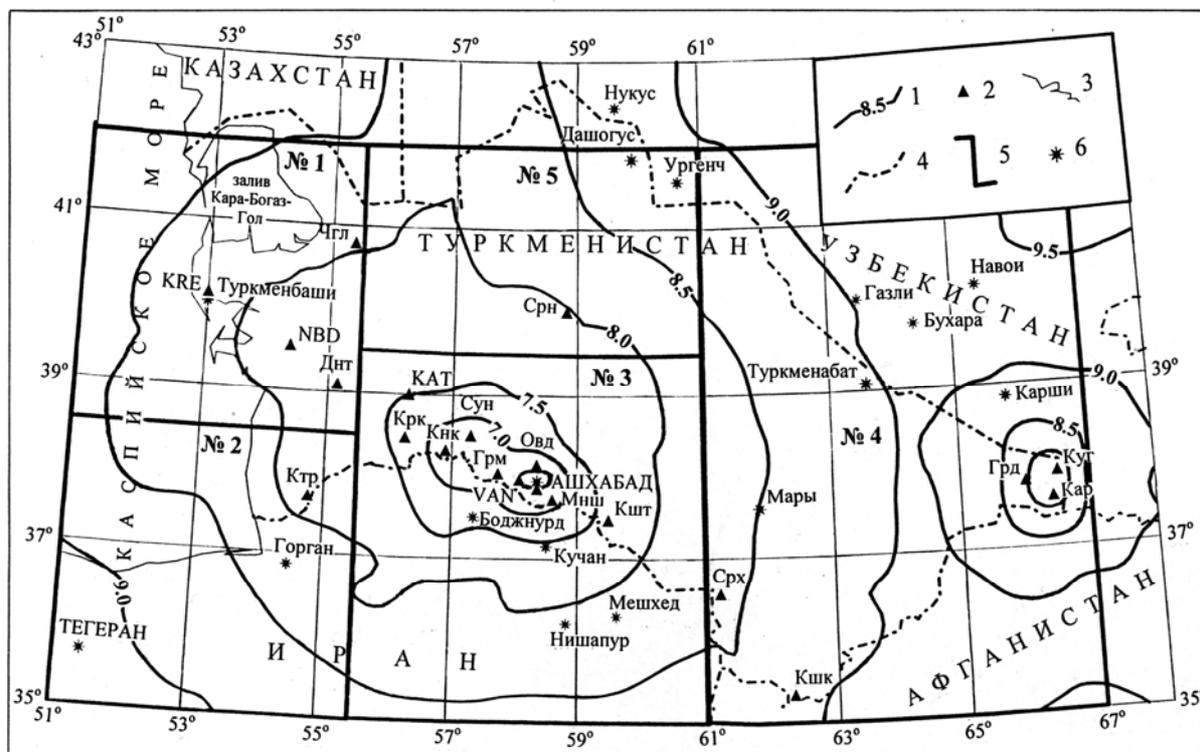


## КОПЕТДАГ

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

В 1998 г. сеть сейсмических станций Туркменистана включала 21 станцию (табл. 1). Были закрыты две сейсмические станции: 24 марта – «Чарджоу» и 1 сентября – «Гяурс». Станция «Гяурс» была расположена на сильно обводненных глинистых грунтах и ее сейсмограммы, даже при малом увеличении ( $V_{\max}=3000$ ), отличались высоким уровнем помех. При высокой плотности сети сейсмических станций вблизи г. Ашхабада станция «Гяурс» не повышала эффективность регистрации землетрясений. Станция «Чарджоу» находилась в еще худших условиях. Высокий микросейсмический фон на высоких и низких частотах не позволял установить здесь короткопериодные приборы и делал малоэффективной установку средне- и длиннопериодных приборов, поэтому станция была оснащена аппаратурой С-5-С с полосой пропускания, приближенной на горизонтальных составляющих к характеристикам приборов СКМ ( $\Delta T_{\max}=0.2-1.5$  с, при увеличении  $V_{\max}=1500$ ), а на вертикальной – к С-5-С ( $\Delta T_{\max}=0.2-4.5$  с, при увеличении  $V_{\max}=500$ ). Учитывая низкую плотность сети сейсмических станций на востоке Туркменистана, станцию «Чарджоу» долгое время не закрывали, хотя она давала некондиционный материал, который практически не использовался в обработке землетрясений региона. Закрытие станций «Чарджоу» и «Гяурс» не отразилось на эффективности регистрации землетрясений Копетдагского региона, о чем свидетельствует карта представительности землетрясений на рис. 1, которая мало отличается от подобной карты за прошлый год [1].



**Рис. 1.** Карта энергетической представительности  $K_{\min}$  землетрясений Копетдага за 1998 г.

1 – изолиния  $K_{\min}$ ; 2 – сейсмическая станция; 3 – контур Каспийского моря; 4 – государственная граница; 5 – граница района; 6 – город.

Таблица 1. Сейсмические станции Копетдага, работавшие в 1998 г., и их параметры

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Аппаратура			
	Название	Код			$\varphi^{\circ}, N$	$\lambda^{\circ}, E$	$h_y, m$	Тип прибора	Компонента	$V_{max}$	$\Delta T_{max}, c$
		межд.	рег.								
1	Ашхабад	ASH	Ашг	16.02.1947	37.96		305	СМ-3	N	20000	0.20–1.2
									E	20000	0.40–0.9
									Z	12000	0.50–0.9
								СКМ-3	N, E, Z	6000	0.20–1.2
								СК	N, E, Z	1000	0.20–10
							С-5-С	N, E, Z	100	0.20–3.1	
2	Кизыларват	КАТ	Кзл	01.01.1950	38.97	56.28	110	СК	N, E	1600	0.36–11
									Z	1200	5.5–11
3	Ванновская	VAN	Ван	07.07.1952	37.95	58.11	580	СКМ-3	N, E, Z	99999	0.30–1.3
								СМ-3	N, E, Z	10000	0.20–1.2
								С-5-С	N, E, Z	100	0.15–4.5
								СКД	N, E	1000	0.20–19.0
									Z	950	0.20–20.5
4	Красноводск	KRE	Крс	31.03.1966	40.04	53.00	10	СКМ-3	N, E, Z	30000	0.10–0.8
								СК	N	1000	0.20–10
									E	1000	0.30–10
									Z	1000	0.50–10
5	Небитдаг	NBD	Нбд	12.02.1966	39.51	54.39	15	СКМ-3	N, E	5000	0.20–1.2
									Z	5000	0.20–1.1
								СКД	N, E, Z	1000	0.20–17
6	Кизылатрек		Ктр	10.10.1968	37.68	54.77	55	СМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.2
								СКД	N	700	0.30–18
									E	770	0.60–18
									Z	700	0.40–18
7	Каракала		Крк	26.03.1971	38.44	56.27	315	СКМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.2
								С-5-С	N	105	0.20–4.3
									E	100	0.20–4.0
									Z	510	0.20–2.7
8	Чагыл		Чгл	11.11.1972	40.78	55.38	144	СКМ-3	N	40000	0.30–0.8
									E	40000	0.20–0.6
									Z	40000	0.20–0.7
9	Каушут		Кшт	24.06.1977	37.46	59.49	257	ВЭГИК	N, Z	10000	0.20–1.2
									E	10000	0.20–1.1
10	Маньш		Мнш	04.01.1978	37.72	58.61	680	СКМ-3	N, Z	30000	0.20–1.2
									E	6000	0.20–1.2
11	Овадан-Тепе		Овд	12.04.1978	38.11	58.36	160	СМ-3	N	7000	0.20–1.1
									E	7000	0.20–1.2
									Z	5000	0.20–1.0
12	Серный		Срн	01.12.1980	39.99	58.83	120	СКМ-3	N, E, Z	50000	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
14	Серахе		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, Z	10000	0.20–1.2
									E	10000	0.20–1.4
16	Кушка		Кшк	01.01.1986	35.27	62.31	650	СМ-3	N, Z, E	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	8880	0.60–1.4
									E	9420	0.80–1.5
									Z	10000	0.60–1.3
19	Карлюк		Кар	20.07.1992	37.56	66.43		СМ-3	N	10000	0.20–1.2
									E	2000	0.20–1.2
									Z	10000	0.20–1.1
20	Кугитанг		Куг	05.10.1992	37.91	66.48		СМ-3	N	2000	0.20–1.2
									E, Z	10000	0.20–1.2

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Аппаратура			
	Название	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, м$	Тип прибора	Компонента	$V_{max}$	$\Delta T_{max}, с$
		межд.	рег.								
21	Кёнекесир		Кнк	04.09.1995	38.20	56.90		СМ-3+РВЗ	N	40000	0.20–1.5
		E							40000	0.50–1.4	
		Z							40000	0.30–1.2	

Следует отметить, что на практике уровень представительной регистрации землетрясений сетью сейсмических станций Туркменистана на 0.5–1.0  $K_p$  ниже расчетного, приведенного в табл. 2. Этот вывод сделан на основе исследования графиков повторяемости землетрясений за 1998 г. по указанным выше районам, которое показало, что для районов № 1 и № 3 параметры  $\gamma$  и  $A_{10}$  практически не изменяются при включении в анализ землетрясений 8-го энергетического класса. Сводка расчетных  $K_{3min}$  и практических  $K_{\gamma min}$  представительных энергетических классов по районам, с указанием границ и площади последних, приведена в табл. 2. Подобное исследование для Копетдагского региона в целом дало представительный энергетический класс  $K_{\gamma min}=9$ . Скорее всего, это связано с тем, что в банк сейсмологических данных и каталоги землетрясений региона включаются все сейсмические события, зарегистрированные не только тремя и выше, но и 1–2 станциями, учитывая азимут на эпицентр или наиболее вероятную очаговую зону.

**Таблица 2.** Сейсмоактивные районы Копетдага и представительные энергетические классы землетрясений, определенные по карте представительной регистрации землетрясений минимум тремя станциями на рис. 1 ( $K_{3min}$ ) и по «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	10	9–10
5	Центрально-Каракумский	130	39.5–42.0	55.5–61.0	9	–
	К о п е т д а г	1082	35.0–42.0	51.0–67.0	9–10	9

Методика обработки зарегистрированных землетрясений осталась прежней. Кинематические параметры землетрясений региона определялись на основе региональных блочных годографов [2] с помощью программы LOCTRY [3], энергетического класса  $K_p$  – по палетке Раутиан [4], магнитуды  $MPVA$  – согласно [5]. Макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений оценивались на основе регионального уравнения макросейсмического поля [6].

В пределах Туркменистана в 1998 г. отмечено 10 ощутимых землетрясений, наиболее сильное ( $K_p=13.1$ ;  $I_0=5$  баллов) из которых произошло 4 августа в 11<sup>h</sup>41<sup>m</sup>. Его эпицентр находится в восточном окончании хр. Аладаг, в 40 км юго-восточнее иранского г. Боджнурд, на юге очаговой зоны Боджнурдского землетрясения 04.02.1997 г. с  $MS=6.6$  [7]. Подробные сведения о макросейсмических параметрах ощутимых землетрясений и их проявлениях в населенных пунктах приводятся в [8].

Каталог землетрясений Копетдага за 1998 г. [8] содержит землетрясения с  $K_p \geq 8.6$ , зарегистрированные и обработанные региональной сейсмологической службой, включая несколько землетрясений за границами Копетдагского региона (рис. 2), которые рассматриваются в статье и приводятся на карте, но не учитываются при подсчете количественных характеристик сейсмического режима в соответствующих районах (табл. 3 и 4), дабы не вносить элемент случайности и субъективности при сопоставлении количественных данных о региональной сейсмичности за разные годы.

Общее число землетрясений в диапазоне энергетических классов  $K_p=2-13$ , зарегистрированных в 1998 г. в границах Копетдагского региона, равно 2383, что близко к среднегодовому значению, но в 5–6 раз меньше, чем в 1997 г. ( $N=11911$ ), благодаря большой серии афтершоков Боджнурдского землетрясения. Суммарные числа землетрясений разных классов и величина

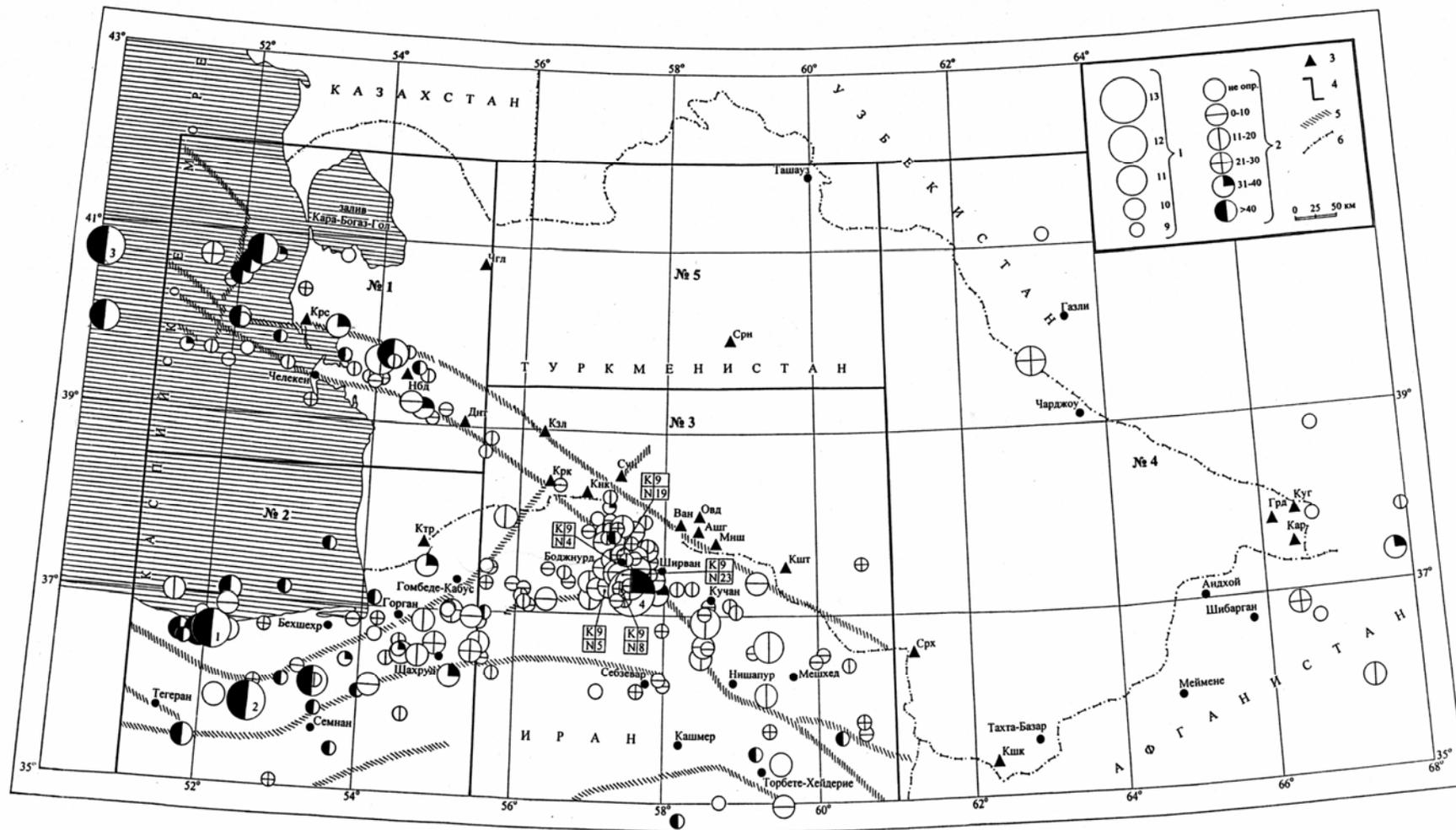


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Копетдага за 1998 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района; 5 – глубинный разлом; 6 – государственная граница. Номера землетрясений соответствуют таковым в [8].

общей сейсмической энергии ( $1.51 \cdot 10^{13}$  Дж) (табл. 3) также близки к средним значениям аналогичных характеристик за период 1992–1996 гг. (табл. 4). Сейсмическая активность в целом по региону понизилась с  $A_{10}=0.14$  [1] до  $A_{10}=0.04$  (табл. 3).

**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$ , суммарная энергия  $\Sigma E$  и количественные параметры сейсмического режима  $A_{10}$  и  $\gamma$  по районам

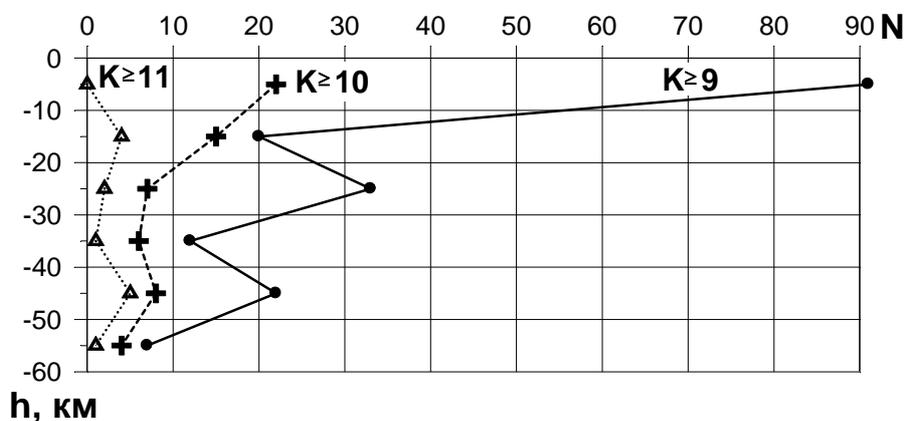
№	Район	$K_p$									$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^{12}$ , Дж	$\gamma^*$	$A_{10}^*$
		8	9	10	11	12	13	14	15	16				
1	Балхано-Каспийский	46	23	7	3	–	–	–	–	–	79	0.27	0.44	0.053
2	Эльбурский	20	25	18	2	2	–	–	–	–	67	1.14	0.42	0.068
3	Туркмено-Хорасанский	294	121	24	4	–	1	–	–	–	444	13.62	0.52	0.105
4	Восточный Туркменистан	2	4	1	1	–	–	–	–	–	8	0.07	–	–
5	Центрально-Каракумский	1	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–
6	Копетдаг	363	173	50	10	2	1	–	–	–	599	15.10	0.57	0.043

\* Параметры  $\gamma$  и  $A_{10}$  определены из графиков повторяемости в диапазонах представительных энергетических классов.

**Таблица 4.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  в 1992–1998 гг. в границах всего Копетдагского региона ( $35.0\text{--}42.0^\circ\text{N}$ ,  $51.0\text{--}67.0^\circ\text{E}$ )

Год	$K_p$										$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^{12}$ , 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
1998	1685	363	173	49	10	2	1	–	–	–	2283	15.1
Сумма	10057	1802	849	314	97	23	13				13158	300.1
Среднее	1676	300	141	52	16	3.8	2.2				2193	50.0
1997	10050	1170	482	139	57	9	2	1	–	1	11911	4102.4

Анализ распределения землетрясений региона с  $K_p \geq 8.6$  по 10-километровым интервалам глубин (рис. 3) показал приуроченность большинства из них к верхнему 10-километровому слою. При этом наблюдается тенденция увеличения в процентном отношении глубин гипоцентров землетрясений с увеличением их энергетического класса. Так, максимумы распределения числа землетрясений с  $K_p \geq 11$  приходятся на интервалы глубин 10–20 км и 40–50 км.



**Рис. 3.** Распределение числа землетрясений с  $K_p=9\text{--}11$  по глубинам

В Балхано-Каспийском районе (№ 1) в 1998 г. продолжалось относительное сейсмическое затишье (рис. 4), наблюдающееся с 1992 г. [1, 9–11]. Как видно из рис. 4, землетрясениям этого района с магнитудами  $M=5.7-6.3$  предшествовали периоды понижения активности  $A_{10}$  длительностью около 2 лет, а также повышение наклона графика повторяемости  $\gamma$  за год, предшествовавший сильному событию. Отмечается также противофазность поведения во времени параметров  $A_{10}$  и  $\gamma$ . В эту схему «не вписывается» Бурунское землетрясение 22.02.1984 г. с  $M=5.9$  [12], которое, по-видимому, можно считать продолжением единого процесса вспарывания Челекен-Кумдагского разлома (южный из пары разломов северо-западного простирания на рис. 2). Этот процесс начался Кумдагским землетрясением 14.03.1983 г. с  $M=5.7$  [13] и завершился 11 месяцев спустя подвижкой при Бурунском землетрясении на этом же разломе, в 45 км к западу от очага Кумдагского землетрясения [14]. Можно предположить, что период затишья 1981–1982 гг. предшествовал паре этих землетрясений, а пониженные значения сейсмической активности, наблюдавшиеся, согласно рис. 4, в 1976–1979 гг., отражают заключительный этап более длительного и общего процесса сейсмического затишья, охватившего большую территорию в Западном Туркменистане примерно с 1953 г. [15], после реализации и последствия очага Казанджикского землетрясения 04.11.1946 г. с  $M=7.0$  [16]. Активизация сейсмичности в 1983–1989 гг. является закономерным следствием высвобождения сейсмической энергии, накопившейся в результате столь длительного затишья.

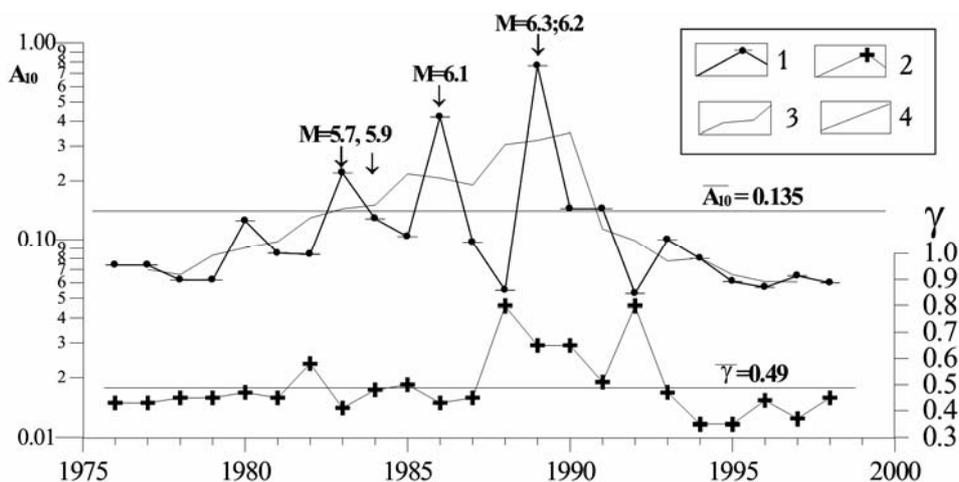


Рис. 4. Изменение во времени сейсмической активности и наклона графика повторяемости в Балхано-Каспийском районе за 1976–1998 гг.

1 — сейсмическая активность в единицах  $A_{10}$ ; 2 — наклон графика повторяемости  $\gamma$ ; 3 — линия скользящей средней активности с окном в 3 года; 4 — среднее долговременное значение  $\gamma$ .

В 1998 г. максимумы выделившейся на территории рассматриваемого района сейсмической энергии приходятся на февраль и ноябрь, тогда как максимумы числа землетрясений с  $K_p \geq 8.6$  — на май, сентябрь и декабрь (рис. 5). Это несовпадение по времени максимумов высвобожденной суммарной энергии и числа землетрясений подчеркивает характерную особенность сейсмического режима Балхано-Каспийского района, где сильные землетрясения, приуроченные к более древним консолидированным породам в зоне Копетдаг-Большебалханского разлома (северный из пары разломов северо-западного простирания на рис. 2), часто происходят практически без сопровождения афтершоков. В то же время в рассматриваемом районе имеются участки постоянной разрядки напряжений, которые характеризуются высокой группированностью землетрясений. Это участки вблизи Кумдага, Даната, меридионального разлома в Каспийском море (рис. 2), где даже в отсутствие сильных землетрясений происходит много слабых, включая рои землетрясений [1].

Февральский максимум на графике высвобождения сейсмической энергии (рис. 5) связан с землетрясением 6 февраля в  $02^h36^m$  с  $K_p=10.8$  [8]. Его очаг залегает на юго-восточном побережье Каспийского моря, на п-ове Дарджа, в очаговой зоне Дюзмергенского землетрясения 19.07.1996 г. в  $02^h28^m$  с  $K_p=12.2$  [17],  $MS=4.1$  [18]. В эпицентре землетрясение имело интенсив-

ность  $I_0=4-5$  баллов. В расположенных вблизи селениях Дюзмерген<sup>1</sup>, Моллакара (12 км) и на железнодорожном разъезде № 124 (14 км) ощущались сотрясения с интенсивностью 4–5 баллов; в Джебеле (16 км), Ягмане (18 км) и на железнодорожном разъезде № 123 (24 км) – 4 балла. Сотрясения в 3–4 балла отмечены в Учгёзе, Дашарбате (28–30 км) и в Небитдаге (34 км).

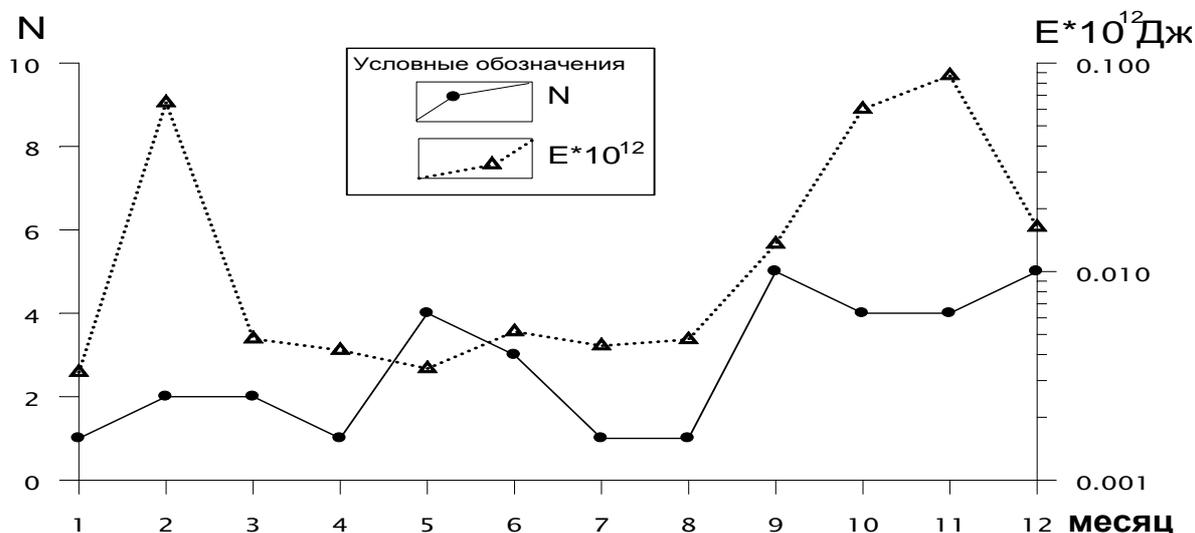


Рис. 5. Изменение во времени числа землетрясений Балхано-Каспийского района и их суммарной сейсмической энергии в течение 1998 г.

Землетрясение 6 февраля, как и Дюзмергенское [17], сопровождалось вялой афтершоковой деятельностью, которая отражена в табл. 5, где приведены все толчки, зарегистрированные за год в радиусе 50 км от него, хотя в целом, как это видно из карты эпицентров землетрясений (рис. 6), приведенных в табл. 5, этот участок региона характеризуется заметной активностью. Один из афтершоков, произошедший 28 марта в 16<sup>h</sup>35<sup>m</sup> в районе солончака Кель-Кёр, имел незначительную энергию ( $K_p=8.9$ ), но из-за мелкого залегания очага ( $h=6$  км) его интенсивность в эпицентре достигла  $I_0=4$  балла, а в пос. Им. 26 Бакинских комиссаров (10 км) 3 балла [8].

Таблица 5. Список землетрясений в радиусе 50 км от эпицентра землетрясения 6 февраля в 02<sup>h</sup>36<sup>m</sup> с  $K_p=10.8$  за 1998 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$						$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
1	02.02	18 58 40	39.73	53.70	14	8.3	11	23.09	18 03 40	39.76	54.37	20	9.4
2	<b>06.02</b>	<b>02 36 11</b>	<b>39.67</b>	<b>54.04</b>	<b>20</b>	<b>10.8</b>	12	18.10	17 39 25	39.60	53.80		7.8
3	23.02	15 56 48	39.70	54.40		8.3	<b>13</b>	<b>12.11</b>	<b>02 46 39</b>	<b>39.76</b>	<b>54.19</b>	<b>45</b>	<b>10.9</b>
4	09.03	22 42 00	39.69	53.73	37	6.8	14	23.11	21 00 05	39.55	53.69	13	8.8
5	28.03	16 35 44	39.42	53.98	6	8.9	15	02.12	05 57 55	39.73	53.84	15	8.0
6	28.03	16 59 51	39.36	53.88	4	8.1	16	04.12	18 13 22	39.49	54.02	24	8.9
7	13.04	22 30 58	39.87	53.76	15	8.2	17	10.12	21 58 09	39.38	54.11	17	7.7
8	01.05	01 16 44	39.66	54.21	20	8.6	18	14.12	04 58 57	39.48	53.94	16	8.6
9	02.06	17 11 11	39.76	53.86	4	7.6	19	16.12	03 52 14	39.63	53.73	12	7.3
10	08.09	08 45 21	39.53	54.12	24	8.4	20	27.12	10 55 34	39.58	53.97	21	8.4

Еще одно ощутимое землетрясение в этой очаговой зоне возникло 12 ноября в 02<sup>h</sup>46<sup>m</sup> с  $K_p=10.9$ , в 20 км к северо-востоку от очага землетрясения 6 февраля. Имея по инструментальным данным большую глубину ( $h=45$ км), землетрясение не превысило интенсивности  $I_0=3$  балла в эпицентре. В селениях, расположенных в радиусе 10–15 км, оно ощущалось с такой же интенсивностью [8]. Это землетрясение имело 7 афтершоков (табл. 5), из них 3 с  $K_p=9$ .

<sup>1</sup> Здесь и далее наименования населенных пунктов даны по карте: Туркменистан. Ашгабат: Туркменгеодезия. 1993. Масштаб 1:1000000.

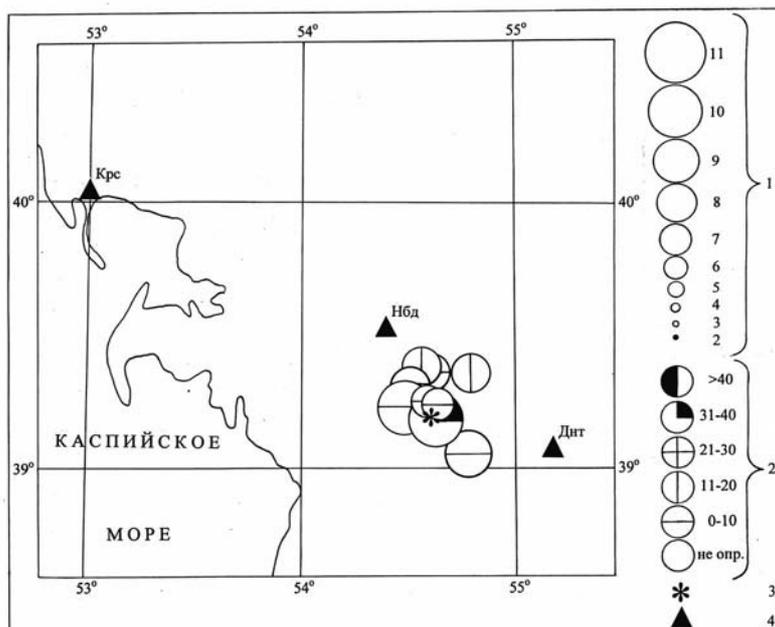


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений из табл. 5

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – эпицентр землетрясения 6 февраля в  $02^h36^m$ ; 4 – сейсмическая станция.

Локальная очаговая зона Кумдагского землетрясения 14.03.1983 г. с  $MLH=5.7$ ,  $K_p=13.8$  [13–15, 19] была активной на протяжении всех 16 лет после него, включая 1998 г. (табл. 6, рис.7). В феврале здесь произошли три слабых поверхностных толчка с  $K_p=7-8$ , предшествовавших землетрясению 2 марта в  $12^h34^m$  ( $K_p=9.5$ ,  $h=8$  км), после чего наступило сейсмическое затишье вплоть до 18 июля в  $03^h59^m$ , когда произошло землетрясение с  $K_p=9.6$ . Его очаг расположен в песках Кызылкум на очень малой глубине  $h=4$  км. По расчетным данным оно имело интенсивность в эпицентре  $I_0=5-6$  баллов и ощущалось в Гумдаге (6 км) с интенсивностью до 5 баллов, в Куиджике (11 км) – 4 балла, в районе колодца Дазкуи (22 км) – 3 балла, на железнодорожном разъезде № 121, у колодца Шарджа (23–24 км) и в Балла-Ишем (26 км) – 2–3 балла [8]. По особенностям распространения сотрясений это землетрясение очень похоже на Кумдагское землетрясение, которое также имело сравнительно небольшую глубину ( $h=12$  км) и отразилось в этих же селениях, но со значительно большим эффектом.

Таблица 6. Землетрясения Кумдагской очаговой зоны (в радиусе 30 км от точки с координатами:  $\varphi=39.2^\circ N$ ,  $\lambda=54.6^\circ E$ )

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
1	06.02	16 02 17	39.24	54.63	9	7.5
2	22.02	13 31 23	39.30	54.50	3	8.1
3	22.02	15 22 19	39.25	54.58	7	7.1
4	02.03	12 34 50	39.05	54.77	8	9.5
5	18.07	03 59 05	39.23	54.48	4	9.6

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
6	09.08	17 11 12	39.38	54.56	19	8.2
7	15.08	04 37 46	39.35	54.78	14	8.5
8	30.11	15 06 31	39.19	54.62	40	9.8
9	03.12	18 55 11	39.36	54.59	3	8.0

Следующие сейсмические события из табл. 6 – два толчка с  $K_p=8$  в августе и землетрясение с  $K_p=9.8$ , произошедшее 30 ноября в  $15^h06^m$ , отличаются от предыдущих глубинами очагов, переместившимися на значительную, не характерную для Кумдагской очаговой зоны глубину, от 14–19 км – при августовских толчках до 40 км – при ноябрьском землетрясении. Сведений об ощутимости этих событий не поступало.

13 октября в  $06^h22^m$  к северу от этой зоны произошло землетрясение с  $K_p=9.3$ . Его очаг расположен в южных отрогах хр. Большого Балхана, в 35 км северо-восточнее землетрясения 18 июля. Жители железнодорожного разъезда № 121 (15 км) ощутили сотрясения с интенсивно-

стью 3–4 балла. В Айдине и Балаишеме, удаленных от очага на расстояние 18 км, колебания достигли 3 баллов, в Балла-Ишеме (20 км) – 2–3 балла. Легкие сотрясения в 2 балла произошли в отдельных домах Небитдага (27 км). Расчетная интенсивность в эпицентре составила  $I_0=3-4$  балла.

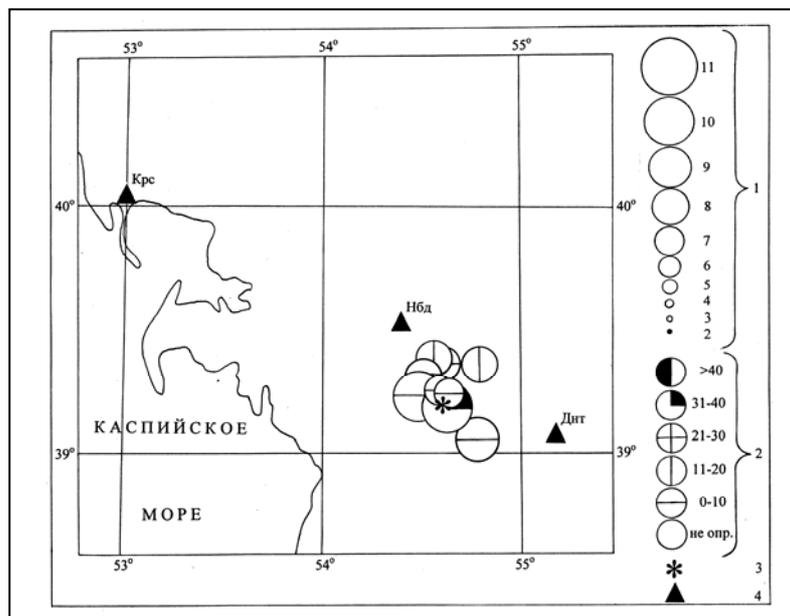


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений из табл. 6

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – точка с координатами:  $\varphi=39.2^\circ N$ ,  $\lambda=54.6^\circ E$ ;  
4 – сейсмическая станция.

Как отмечалось выше, одной из активных точек на территории Балхано-Каспийского района, отличающейся высокой группируемостью слабых сейсмических событий, является территория вблизи Даната. В 1997 г. здесь было зарегистрировано 3 роя землетрясений, включающих в общей сложности 124 толчка с  $K_p=5-9$  [1], причем первый рой возник через 9 дней после Боджнурдского землетрясения. В 1998 г. здесь же зарегистрирован рой из 9 событий с  $K_p=2-8$  (табл. 7, рис. 8). Обращает на себя внимание увеличение глубины данатинских толчков в 1998 г. до 22–23 км, по сравнению с событиями в роях 1997 г., которые происходили на глубинах 1–14 км [1].

Таблица 7. Землетрясения вблизи Даната (в радиусе 30 км от точки с координатами:  $\varphi=39.0^\circ N$ ,  $\lambda=55.2^\circ E$ )

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$	№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$						$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
1	19.04	13 03 06	39.20	55.20		5.4	6	26.05	06 57 06	38.96	55.32	23	6.5
2	24.04	18 55 49	39.20	55.20		5.1	7	30.05	16 39 53	38.87	55.25	22	8.1
3	27.04	06 23 05	39.00	55.20		3.0	8	29.08	07 02 18	39.20	55.20		5.8
4	30.04	14 06 22	39.20	55.20		5.2	9	23.12	07 25 17	39.00	55.20		4.5
5	22.05	00 35 10	39.08	55.17		2.0							

Акватория Каспийского моря в 1998 г. проявила себя землетрясениями с  $K_p \leq 12$ , причем самое сильное ( $K_p=11.7$ ) из них произошло 18 апреля в  $19^h 47^m$  в 70–80 км к западу от границ Балхано-Каспийского района (рис. 2) и потому не отражено на временном графике выделения сейсмической энергии и числа землетрясений этого района (рис. 5), как и другой толчок из этого же района, произошедший 29 июня в  $14^h 51^m$  с  $K_p=10.9$  в 20 км от указанного выше. Сведениями об ощутимости этих землетрясений сейсмическая служба Туркменистана не располагает. Среди остальных землетрясений в акватории Каспия наиболее значительным ( $K_p=9.6$ ) было землетрясение 29 августа в  $01^h 17^m$ , которое возникло в северо-восточной части Красноводского залива. Оно ощущалось в селениях Янгаджа (6 км), Кара-Тенгир (9 км), Кайлю (12 км) с интенсивностью 2 балла. Интенсивность в эпицентре –  $I_0=2-3$  балла.

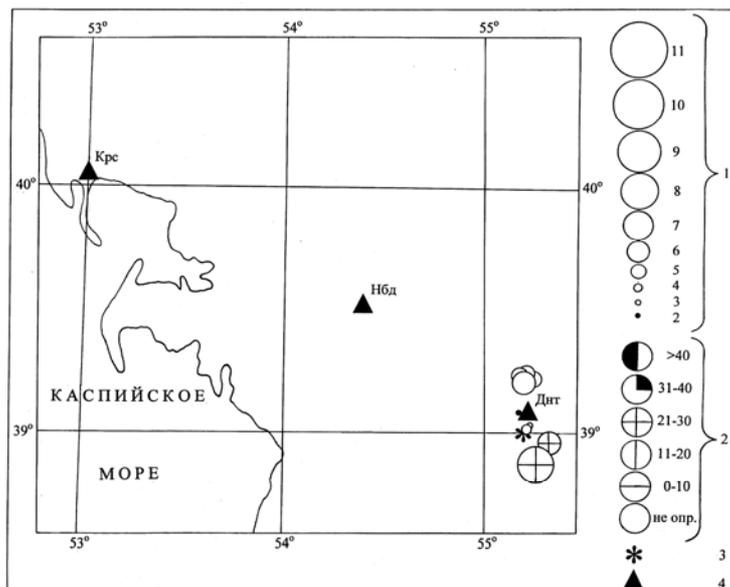


Рис. 8. Карта эпицентров землетрясений из табл. 7

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – точка с координатами:  $\varphi=39.0^\circ N$ ,  $\lambda=55.2^\circ E$ ; 4 – сейсмическая станция.

В Эльбурском районе (№ 2) сейсмическая активность составила  $A_{10}=0.068$ , что выше таковой ( $A_{10}=0.032$ ) в 1997 г. [1] за счет увеличения втрое числа землетрясений с  $K_p=9$  и в 4.5 раза – с  $K_p=10$ . Число землетрясений более высоких классов ( $K_p=11-12$ ) не изменилось или уменьшилось, что привело к существенному увеличению параметра  $\gamma$ . Эти землетрясения произошли на южном побережье Каспия или в зоне Эльбурского разлома, к югу от Каспийского моря (рис. 2). Так как их эпицентры значительно удалены от границ Туркменистана, то ни одно из них не ощущалось на его территории.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) на протяжении 1998 г. продолжалась разрядка напряжений в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения. Как видно из рис. 9, к началу 1998 г. сейсмичность этой зоны оставалась повышенной, по сравнению с периодом времени, предшествовавшим Боджнурдскому землетрясению.

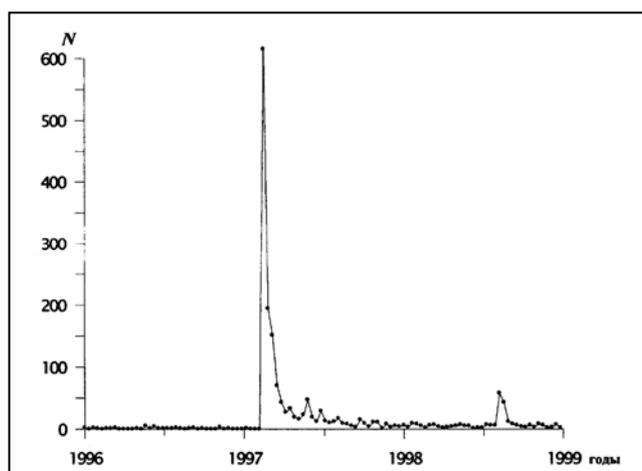
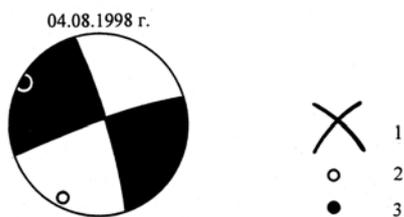


Рис. 9. Распределение по декадам чисел  $N$  землетрясений с  $K_p \geq 7.6$  в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения (в радиусе 50 км от центра с координатами:  $\varphi=37.5^\circ N$ ,  $\lambda=57.5^\circ E$ ) за 1996–1999 гг.

В Боджнурдской очаговой зоне за 1998 г. произошло 272 толчка с  $K_p \geq 7.6$ , 90 из них с  $K_p \geq 8.6$  [8]. Самым крупным в этой серии явилось землетрясение 4 августа в  $11^h 41^m$  с  $K_p=13.1$ . Для этого землетрясения есть определение механизма очага [20], согласно которо-

му движение в очаге произошло под действием как сжимающих напряжений близмеридионального направления, так и растягивающих напряжений – почти широтного. Движение в очаге по обеим нодальным плоскостям, имеющим крутое падение, представлено «чистым» сдвигом: по плоскости *NP1* – левосторонним, по плоскости *NP2* – правосторонним (рис. 10). Расчетная интенсивность сотрясений в его эпицентре –  $I_0=5$  баллов, и такая же интенсивность ощущалась в Боджнурде. В Туркменистане оно проявилось в приграничных селениях Чаек (85 км), Гермаб, Куркулаб (90 км) с интенсивностью в 3–4 балла.

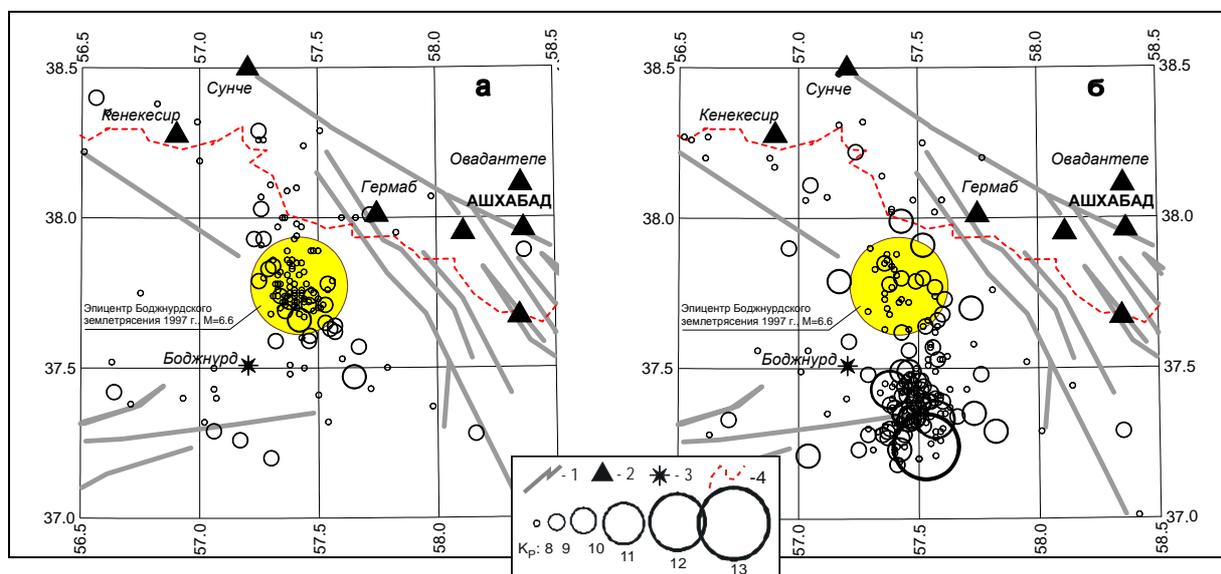


**Рис. 10.** Механизм очага землетрясения 4 августа в  $11^{\text{h}}41^{\text{m}}$  по [20]

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

До землетрясения 4 августа большинство сейсмических событий с  $K_p=8-10$  группировалось вблизи эпицентра Боджнурдского землетрясения (рис. 11 а). Менее плотное облако эпицентров покрывало южную часть очаговой зоны, а в меридиональном направлении к северу располагалась цепочка эпицентров 8-го и 9-го энергетических классов. На рис. 11 а довольно четко прослеживаются две оси максимальной плотности эпицентров землетрясений меридиональной и северо-западной ориентации, выделенные по положению афтершоков в 1997 г. [7]. Очевидно, снятие напряжений в центре очаговой зоны Боджнурдского землетрясения в ходе афтершоковой деятельности 1997–1998 гг. привело к их перераспределению по периферии, где и произошло землетрясение 4 августа, сопровождавшееся

собственными афтершоками (рис. 9, 11). С момента этого землетрясения максимальная плотность эпицентров в районе № 3 переместилась на юг (рис. 11 б), в афтершоковую зону землетрясения 4 августа. До конца года здесь произошло более 100 афтершоков с  $K_p \geq 7.6$  (около 50 с  $K_p \geq 8.6$ ). Максимальные события в афтершоковой последовательности землетрясения 4 августа произошли 15 августа в  $21^{\text{h}}34^{\text{m}}$  с  $K_p=11.1$  и 3 октября в  $21^{\text{h}}34^{\text{m}}$  с  $K_p=10.9$ . На территории Туркменистана они не ощущались. К концу 1998 г. проявилась активность в северной части Боджнурдской очаговой зоны, где произошло четыре землетрясения 10-го энергетического класса и ряд более слабых (рис. 11 б).



**Рис. 11.** Карты эпицентров землетрясений в очаговой зоне Боджнурдского землетрясения за периоды: 1 января – 4 августа 1998 г. (а) и до конца года (б)

1 – разлом; 2 – сейсмическая станция; 3 – г. Боджнурд; 4 – государственная граница.

Среди землетрясений других очаговых зон Туркмено-Хорасанского района в 1998 г. отмечено лишь одно ощутимое, произошедшее 11 марта в  $19^{\text{h}}53^{\text{m}}$  с  $K_p=8.8$ . Его очаг расположен в северо-восточных отрогах хр. Монджуклы, в 20 км юго-восточнее Кара-Кала, на очень ма-

лой глубине –  $h=4$  км. По этой причине его интенсивность в эпицентре составила  $I_0=4-5$  баллов. С такой же интенсивностью оно ощущалось в Махтумкала (5 км). В других селениях землетрясение вызвало сотрясения: – в 3–4 балла – в сел. Геркез, Арапджик (8–9 км); 2–3 балла – в Тутлыкала, Дурдыхан (16 км), Айдере, Куруждей (18 км); 2 балла – в Кара-Кала, Сайван, Дузлыдепе (20 км). В сел. Кызыл (30 км) оно не ощущалось [8]. Через два дня, 13 марта в  $10^{\text{h}}39^{\text{m}}$ , там же произошел второй толчок несколько меньшей энергии ( $K_p=8.5$ ), ощущавшийся в Кара-Кала с интенсивностью в 2–2.5 балла.

В целом по Туркмено-Хорасанскому району сейсмическая активность в 1998 г. вышла на уровень сейсмичности 1990–1993 гг., предшествовавшей периоду сейсмического затишья (1994–1996 гг.) перед Боджнурдским землетрясением (рис. 12).

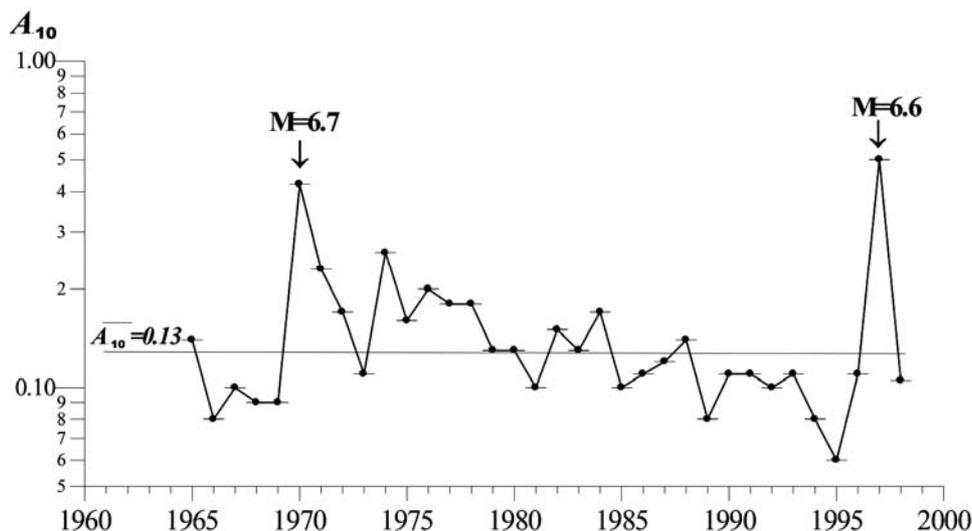


Рис. 12. Изменение во времени сейсмической активности  $A_{10}$  в Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) с 1965 по 1998 гг.

Горизонтальной линией отмечен уровень среднего долговременного значения активности. Стрелка указывает моменты возникновения Моравского 1970 г. ( $MS=6.7$ ) [21] и Боджнурдского ( $MS=6.6$ ) 1997 г. [7] землетрясений.

В Восточном Туркменистане (№ 4), граничащем с сейсмоактивными районами Узбекистана, 16 сентября в  $22^{\text{h}}48^{\text{m}}$  произошло землетрясение с  $K_p=10.8$ . Его очаг расположен в Кызылкумах, в 65 км юго-западнее Газли, на глубине  $h=22\pm 12$  км. Расчетная интенсивность сотрясений в его эпицентре равна  $I_0=4-5$  баллов. В пределах Туркменистана оно ощущалось с интенсивностью 4–5 баллов в сел. Исбаз (17 км), Акратат (18 км), 4 балла – в Сейди (24 км), 3–4 балла – в Эльджик, Шакал (30 км). Макросейсмические определения глубины гипоцентра несколько отличаются от инструментальных:  $h_{\text{юм}}=18$  км,  $h_1=16$  км [8].

В Гаурдак-Кугитанской зоне Восточного Туркменистана, по данным сотрудников сейсмической станции «Гаурдак», отмечены случаи проявления осязательности сотрясений от землетрясений с  $K_p=8-9$  в районе одноименного поселка. Зарегистрированные землетрясения в основном расположены в горах Гиндукуша и отличаются поверхностным залеганием их гипоцентров.

## 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 1997 г. – Обнинск: ФОП, 2003. – С. 63–72.
2. Рахимов А.Р., Славина Л.Б. Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Известия АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
3. 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.

4. 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.
5. 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.
6. Голинский Г.Л. Уравнения макросейсмического поля землетрясений Туркмении // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1977. – № 1. – С. 69–74.
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: ФОП, 2003. – С. 199–218.
8. Сарыева Г.Ч., Рахимов А.Р., Голинский Г.Л. (отв. сост.), Тачов Б., Мамедязова М., Халлаева А., Коржукова Т.А., Таджиева Ш., Дурасова И., Клычева Э., Эсенова А., Петрова Н.В. Копетдаг (См. раздел IV (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
9. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2000. – С. 30–35.
10. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 39–44.
11. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Петрова Н.В., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 43–51.
12. Аннаорова Т.А., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Смирнова Н.П. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1984 г. – М.: Наука, 1987. – С. 44–51.
13. Голинский Г.Л., Аннаорова Т.А., Рахимов А.Р. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1983 г. – М.: Наука, 1986. – С. 38–45.
14. Аннаорова Т.А., Изюмов С.Ф., Кузьмин Ю.О., Петрова Н.В. Изучение очаговых зон сильных землетрясений // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1989. – № 2. – С. 72–78.
15. Ахмедова С.В., Петрова Н.В. Сейсмические затишья и миграция эпицентров землетрясений в Западной Туркмении // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1990. – № 2. – С. 56–63.
16. Голинский Г.Л. (отв. сост.), Кондорская Н.В., Рахимов А.Р., Рустанович Д.Н., Шебалин Н.В. (сост.) при участии Непесова Р.Д., Смирновой В.А. 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.
17. Гаипов Б.Н., Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р. Дюзмергенское землетрясение 19 июля 1996 года с  $MS=4.1$ ;  $I_0=5-6$  (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 190–197.
18. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1996 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ИФЗ РАН, 1996–1997.
19. Гарагозов Д., Голинский Г.Л., Курбанов М.К., Мурадов Ч. Исследование Кумдагского землетрясения 14 марта 1983 г. // Известия АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 1. – С. 71–76.
20. Михайлова Р.С. (сост.). Копетдаг (См. раздел V (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
21. Непесов Р.Д., Голинский Г.Л., Лагуточкина К.Д. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1970 году. – М.: Наука, 1973. – С. 56–67.