

## 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](mailto:gaipsr@online.tm)

Сеть сейсмических станций Туркменистана в 2002 г., включающая 21 аналоговую и одну цифровую станции и представленная в табл. 1, 2, практически не изменилась, по сравнению с [1]. Исключение составляет лишь цифровая станция «Геокача», статус которой в 2002 г. изменен: она использовалась уже не только в оперативной, но и в сводной обработке землетрясений региона. Для нее в табл. 1 уточнены дата начала работы и международный код. Станция «Геокача» расположена в 2.5 км от стационарной аналоговой станции «Ванновская» (табл. 1) и функционирует в рамках совместного проекта IDA с университетом Сан-Диего с ноября 1993 г. Однако ранее ее материалы были доступны только для американской стороны. В конце 2000 г. станция была переоборудована новым комплектом аппаратуры с радиорелейной передачей данных в непрерывном режиме на центральный компьютер Службы срочных донесений в здании Института сейсмологии в Ашхабаде. В 2000–2001 гг. был разработан и опробован комплекс программ обработки данных цифровой станции для определения параметров землетрясений региона. Используемые фильтры: 0.1–1.0 Гц, 1.0–2.0 Гц, 1.0–5.0 Гц, 1.0–10 Гц, 5.0–10 Гц.

Следует отметить, что названия станций, которые не менялись с момента их открытия, стали не совпадать с названиями населенных пунктов, где они установлены в связи с тем, что за последние 10 лет многим из них присвоены новые названия, которые приведены в табл. 1 в скобках.

**Таблица 1.** Сейсмические станции Туркменистана (в хронологии их открытия), действовавшие в 2002 г., и параметры аппаратуры с аналоговой записью

№	Станция		Дата открытия	Координаты		$h_y$ , м	Аппаратура				
	Название	Код		$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E		Тип прибора	Компонента	$V_{\max}$ , чувствит-ть	$\Delta T_{\max}$ , с	
межд.		рег.									
1	Ашхабад (г. Ашгабат)	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-Аrvat (г. Сердар)	KAT	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 (г. Арчабил)	VAN	Ван	07.07.1952	37.95	58.11	580	СКМ-3	N	70000	0.17–1.4
									E	70000	0.18–1.2
									Z	70000	0.20–1.3
								СКД	N, E	1000	0.17–19.3
									Z	950	0.25–20.5
								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							
4	Красноводск (г. Туркменбаши)	KRS	Крс	31.03.1966	40.04	53.00	10	СКМ-3	N, E	30000	0.14–0.81
									Z	30000	0.17–0.81

№	Станция			Дата открытия	Координаты		$h_y$ , м	Аппаратура			
	Название	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		Тип прибора	Комп- нента	$V_{\max}$ , чувствит-ть	$\Delta T_{\max}$ , c
		межд.	рег.								
								СК	N, Z	1000	0.20–9.8
								E		100	0.24–9.8
								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 <sup>2</sup>	0.05
5	Небит-Даг (г. Балканабат)	NBD	Нбд	12.02.1966	39.51	54.39	15	СКМ-3	N, E	5000	0.16–1.3
								Z		5000	0.13–1.3
								СКД	N, E,	1000	0.17–17.4
								Z		1000	0.18–17.0
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.002 c <sup>2</sup>	0.05
6	Кизыл-Атрек (пос. Этрек)		Ктр	10.10.1968	37.68	54.77	55	СМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.2
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
7	Кара-Кала (пос. Магтымгулы)		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	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
8	Чагыл (с. Чагыл)		Чгл	11.11.1972	40.78	55.38	144	СКМ-3	N	40000	0.13–0.8
								E, Z		40000	0.20–0.7
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
9	Каушут (с. Говшут)		Кшт	24.06.1977	37.46	59.49	257	ВЭГИК	N	9400	0.20–1.2
								E		10700	0.30–1.5
								Z		8300	0.20–1.2
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
10	Маньш (с. Касамлы)		Мнш	04.01.1978	37.72	58.61	680	СКМ-3	N	6000	0.14–1.3
								E, Z		30000	0.17–1.3
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
11	Овадан-Тепе (с. Овадантепе)		Овд	12.04.1978	38.11	58.36	160	СМ-3	N, E, Z	5000	0.20–1.3
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
12	Серный (с. Серный завод)		Срн	01.12.1980	39.99	58.83	120	СКМ-3	N	56000	0.20–0.8
								E		61000	0.20–0.8
								Z		52000	0.20–0.8
13	Гермаб (с. Гермап)		Грм	24.05.1980	38.01	57.75	775	СКМ-3	N, E, Z	50000	0.20–1.2
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
14	Серахс (пос. 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 <sup>2</sup>	0.05
15	Гаурдак (г. Магданлы)		Грд	01.12.1985	37.80	66.05	460	СМ-3	N	13600	0.34–1.5
								E		10700	0.24–1.4
								Z		11200	0.60–1.5
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
16	Кушка (г. Серхетабат)		Кшк	01.01.1986	35.27	62.31	650	СМ-3	N, Z, E	10000	0.20–0.9
								ИСО+C5C	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
								Z		0.1	0.01–4.5
17	Даната (с. Дянеата)		Днт	24.04.1988	39.07	55.17		СКМ-3	N, E, Z	40000	0.20–0.8
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.0019 c <sup>2</sup>	0.05
18	Сунча (с. Сунче)		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

№	Станция			Дата открытия	Координаты		$h_y$ , м	Аппаратура			
	Название	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		Тип прибора	Комп-нента	$V_{max}$ , чувствит-ть	$\Delta T_{max}$ , с
		межд.	рег.								
19	Карлюк (с. Кюнджек)		Кар	20.07.1992	37.56	66.43		СМ-3	N	20000	0.20–1.2
								E	20000	0.20–1.3	
								Z	28400	0.30–1.3	
								ИСО+С5С	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
									Z	0.1	0.01–4.5
20	Кугитанг (с. Койтен)		Куг	05.10.1992	37.91	66.48		СМ-3	N	2000	0.13–1.3
								E, Z	10000	0.20–1.3	
								ИСО+С5С	N, E	0.1; 2.5	0.01–4.5
									Z	0.1	0.1–4.5
21	Кёнекесир (с. Кёнекесир)		Кнк	04.09.1995	38.20	56.90		СМ-3+PB3	N	40000	0.20–1.5
								E	40000	0.50–1.4	
								Z	40000	0.30–1.2	
								ССРЗ-М	N, E, Z	0.002 с <sup>2</sup>	0.05
22	Геокча (г. Арчабил)	АВКТ	Гкч	20.11.2000 (05.11.1993)	37.93	58.12		STS-1 FBA-23 GS-13	IRIS – цифровая станция		

Таблица 2. Параметры каналов цифровой сейсмической станции «Геокча» (АВКТ) системы IRIS, используемых в 2002 г. в оперативной и сводной обработке землетрясений Копетдага

Название станции	Тип датчика	Перечень имеющихся каналов и их характеристики	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с)
Геокча	STS-1	ВН (N, E, Z) (v)	0.002–5	20	24	1.59·10 <sup>9</sup>
	GS-13	SH (N, E, Z) (v)	0.5–10	40	24	1.6 10 <sup>9</sup>

Расчет энергетической представительности землетрясений Копетдага до сих пор проводился по программе, созданной для аналоговых станций с постоянным увеличением  $V_{max}$  и регистрацией смещений [2]. Поэтому для цифровой станции «Геокча», имеющей регулируемое увеличение и регистрирующей скорость, возникли проблемы с оценкой параметров, вводимых в программу [2]. Для нее эмпирически (рис. 1) была определена предельная дальность регистрации, которая, однако, совпала практически с таковой для аналоговой станции «Ванновская» с СКМ-3. Огибающая надежной дальности регистрации  $K_n(r)$ , приведенная на рис. 1, получена, как обычно, путем параллельного сдвига вверх графика предельной дальности регистрации  $K_n(r)$  на величину стандартной ошибки определения энергетического класса  $\Delta K_p=0.5$ . То, что цифровая станция, несмотря на широкие возможности выбора частотного диапазона и увеличения, не изменила дальность регистрации по сравнению с аналоговой, имеющей постоянное увеличение  $V_{max}=70000$ , объясняется рядом причин. Основной из них является то, что возможности распознавания полезных сигналов на записях как аналоговых, так и цифровых станций ограничены фоном помех в полосе пропускания регистрирующих приборов или фильтров.

Анализ преобладающих периодов  $P$ - и  $S$ -волн землетрясений Копетдага показал, что до 400 км для станций «Ванновская» и «Геокча» преобладающие периоды  $P$ - и  $S$ -волн практически не превышают 1 с (рис. 2). При этом для станции «Геокча» периоды в среднем ниже, чем для станции «Ванновская». Это обусловлено тем, что полоса пропускания прибора СКМ-3 на станции «Ванновская» ограничена в низкочастотной части периодами  $T=1.3–1.4$  с, тогда как используемые при обработке местных и близких землетрясений фильтры станции «Геокча» имеют низкочастотный срез на периодах  $T \leq 1.0$  с, за исключением фильтра 0.1–1.0 Гц, который используется в основном при обработке далеких землетрясений. Кроме того, цифровая станция регистрирует скорость, а это значит, что при равных амплитудах смещений максимумы записи приходятся на меньшие периоды. В связи с вышеизложенным, учет затухания суммы амплитуд  $P$ - и  $S$ -волн с расстоянием при расчете карты  $K_{min}$  на записях станции «Геокча» производился по номограмме Т.Г. Раутиан [3] для приборов типа ВЭГИК с  $T=0.6–0.8$  с.

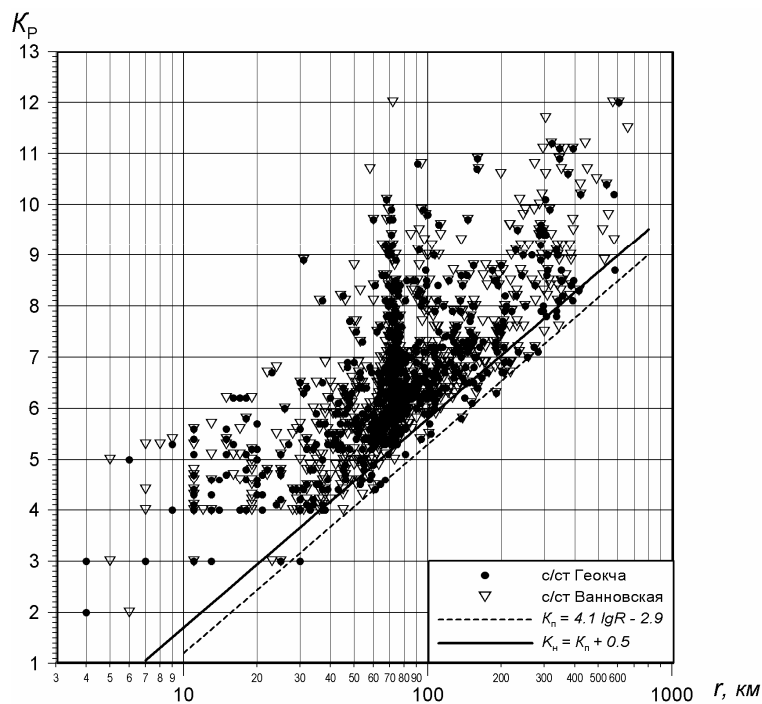


Рис. 1. График огибающих предельной  $r_p$  и надежной  $r_n$  дальности регистрации землетрясений разных энергетических классов  $K_p$  по данным станций «Геокча» (STS-1, GS-13) и «Ванновская» (СКМ-3)

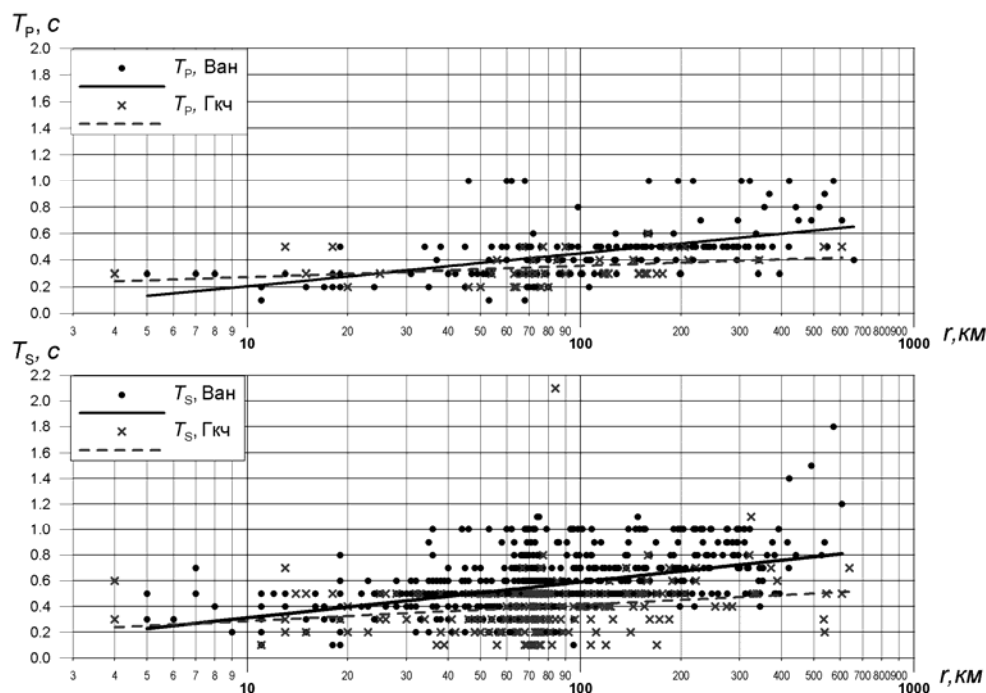


Рис. 2. Преобладающие периоды  $P$ - и  $S$ -волн землетрясений Копетдага, зарегистрированных на разных расстояниях от станций «Ванновская» и «Геокча», и осредняющие их линейные зависимости

Амплитуды фона помех на записях станций «Ванновская» и «Геокча», измеренные в разные дни зимы и лета 2002 г. в диапазоне преобладающих периодов  $T=0.1-1.0$  с для  $P$ - и  $S$ -волн, довольно близки (рис. 3). Обращает на себя внимание то, что на станции «Геокча» уровень помех в ночное время значительно (в 2–5 раз, в зависимости от частоты) ниже, чем в дневное, что

следует учитывать при определении разницы энергетических классов «надежной» и «предельной» регистрации. Другой особенностью спектра помех на этой станции является «всплеск» уровня дневных помех в диапазоне периодов  $T=0.2-0.3$  с, причем на вертикальной составляющей они выше, чем на горизонтальных. Однако при определении величины минимальной амплитуды  $P$ -волны, различимой на фоне помех, этот всплеск можно не учитывать, так как от этих помех можно избавиться, перейдя на фильтр записи  $5-10$  Гц или  $1-2$  Гц.

В настоящее время разрабатывается программа построения карт энергетической предельности с учетом реальной («предельной» и «надежной») дальности регистрации землетрясений Копетдага. Пока же при расчете карты  $K_{3min}$  по алгоритму [2] для цифровой станции «Геокча» были введены следующие параметры: увеличение по смещению  $V_{max}=70000$ ; минимальная различимая на фоне помех амплитуда  $P$ -волны  $A_{Pmin}=0.5$  мм; затухание суммы амплитуд  $A_P+A_S$  взято согласно шкале расстояний для приборов ВЭГИК на номограмме Т.Г. Раутиан [3].

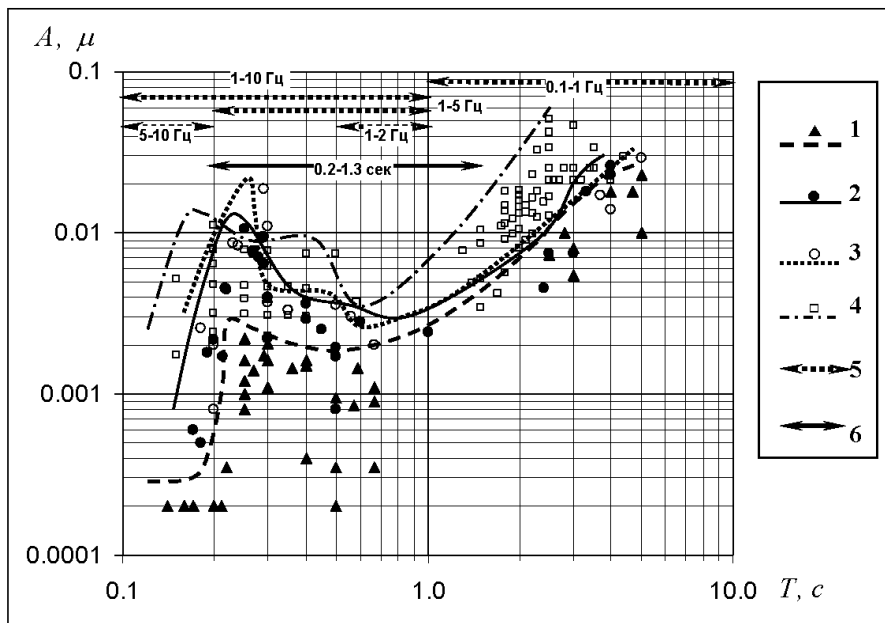


Рис. 3. Спектр помех по измерениям в разные дни зимы и лета 2002 г. на записях сейсмических станций «Геокча» и «Ванновская»

1 – амплитуды ночного фона помех и огибающая их максимальных значений на составляющих N, E, Z станции «Геокча»; 2 – амплитуды дневного фона помех и огибающая их максимальных значений на горизонтальных составляющих N, E той же станции; 3 – то же, на вертикальной составляющей Z; 4 – амплитуды дневного и ночного фона помех на составляющих N, E, Z станции «Ванновская», СКМ-3; 5 – полосы пропускания фильтров записи STS-1 ВН (N, E, Z) станции «Геокча»; 6 – полоса пропускания прибора СКМ-3 (Z) на станции «Ванновская» на уровне  $0.9 V_{max}$ .

Карта  $K_{3min}$  за 2002 г. (рис. 4) в области изолиний  $K_{3min} \geq 8.0$  на расстояниях свыше 150 км от станции «Геокча» почти не отличается от таковой за 2001 г. [1], построенной без участия этой станции. Основные же различия касаются площадей и конфигурации изолиний с  $K_{3min} \leq 7.5$ . Так, в 2002 г. площадь в пределах изолинии  $K_{3min}=7.5$  увеличилась в 1.3 раза; объединились в единую зону две отдельные области, охваченные на карте 2001 г. изолиниями с  $K_{3min}=7.0$  (площадь возросла в 3.3 раза); район наибольшей концентрации сейсмических станций, между станциями «Гермаб», «Овадан-Тепе» и «Маньш», оказался внутри вновь возникших зон с  $K_{3min}=6.5$  и  $6.0$ , а между станциями «Геокча», «Ванновская» и «Гермаб» возник небольшой участок с  $K_{3min}=5.5$ . Однако в целом уровень  $K_{3min}$  надежной регистрации землетрясений минимум тремя станциями практически не изменился по сейсмоактивным районам: на большей части территории Центрально-Каракумского и Туркмено-Хорасанского районов по-прежнему  $K_{3min}=8-9$ , в Балхано-Каспийском районе  $K_{3min}=9$ , в Эльбурском районе, Восточном Туркменистане и Копетдагском регионе в целом  $K_{3min}=9-10$  (рис. 4, табл. 3).

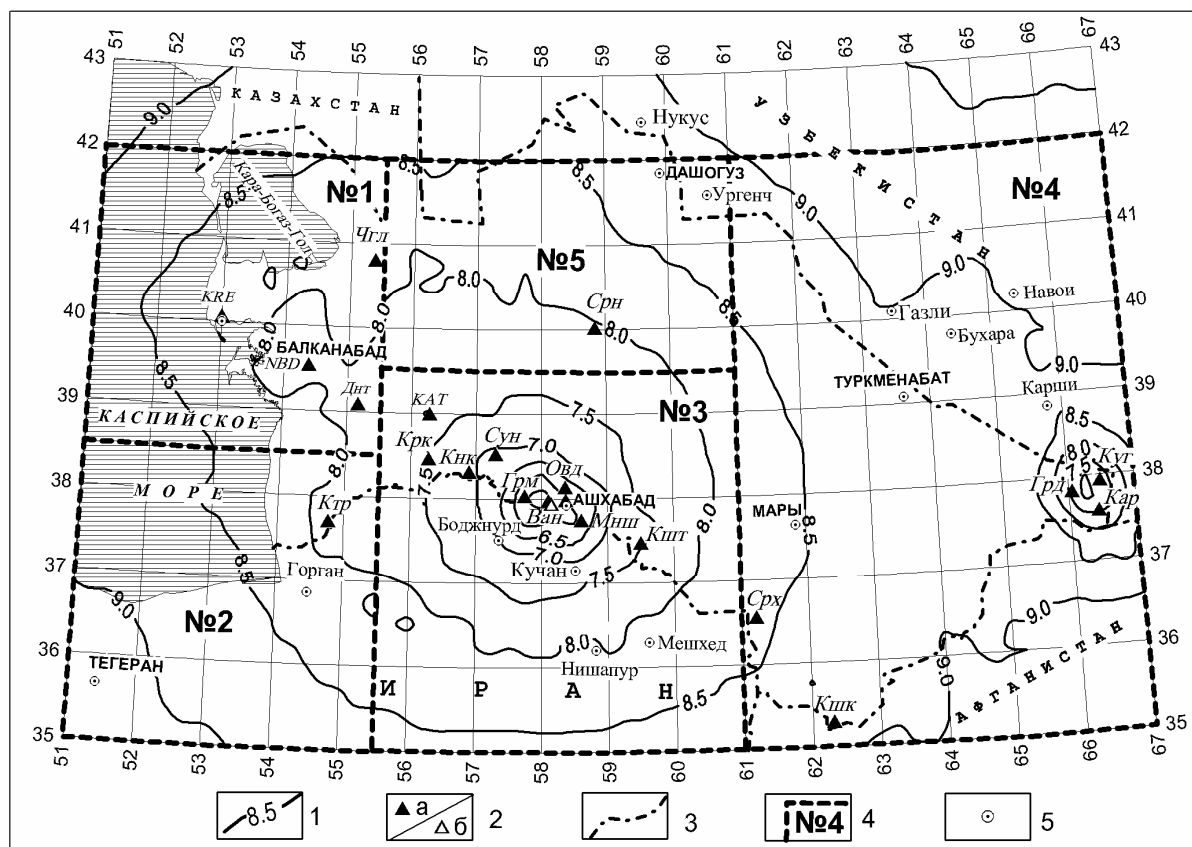


Рис. 4. Карта энергетической представительности  $K_{3min}$  землетрясений Копетдага по данным наблюдений в 2002 г.

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

Следует отметить, что значения  $K_{γmin}$  по Туркмено-Хорасанскому району на полтора порядка ниже значений  $K_{3min}$ , тогда как для остальных районов – только на 0.5–1 порядок (табл. 3, рис. 5). Возможно, это связано с тем, что в расчеты карты  $K_{3min}$  не включались параметры сейсмических станций типа «Черепаша» в Ашхабадском районе, которые работают там уже в течение ряда лет в составе Ахалской экспедиции. Эти станции функционируют в триггерном режиме, поэтому имеются проблемы со стабильностью их регистрации, а также с энергетической классификацией землетрясений. Их данные используются в сводной обработке землетрясений региона лишь как вспомогательные. Вместе с тем станции «Черепаша» регистрируют множество слабых толчков, и вполне вероятно, что эта локальная сеть, при участии цифровой станции «Геокча», внесла вклад в понижение реального энергетического уровня представительной регистрации землетрясений до  $K_{γmin}=7$  в Туркмено-Хорасанском районе.

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

№	Район	$S, км^2$	$φ_1^{\circ}-φ_2^{\circ}, N$	$λ_1^{\circ}-λ_2^{\circ}, E$	$K_{3min}$	$K_{γmin}$
1	Балхано-Каспийский	$149 \cdot 10^3$	38.5–42.0	51.0–55.5	9	8
2	Эльбурский	$156 \cdot 10^3$	35.0–38.5	51.0–55.5	9–10	9
3	Туркмено-Хорасанский	$243 \cdot 10^3$	35.0–39.5	55.5–61.0	8–9	7
4	Восточный Туркменистан	$406 \cdot 10^3$	35.0–42.0	61.0–67.0	9–10	9
5	Центрально-Каракумский	$130 \cdot 10^3$	39.5–42.0	55.5–61.0	8–9	–
	КОПЕТДАГ	$1082 \cdot 10^3$	35.0–42.0	51.0–67.0	9–10	9

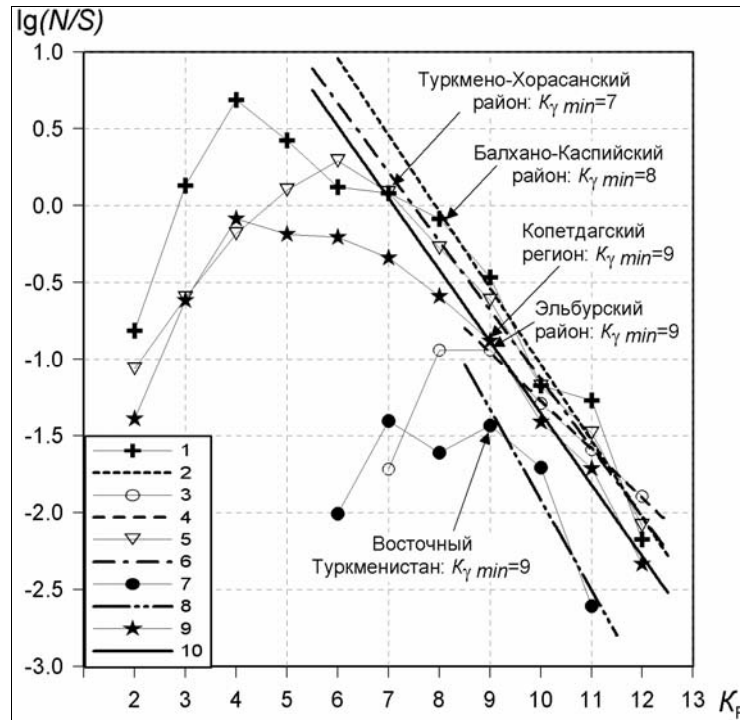


Рис. 5. Графики повторяемости землетрясений по районам

1, 2 – логарифмы чисел землетрясений  $N(K)$ , нормированных на площадь  $S$  Балхано-Каспийского района, и аппроксимирующая их прямая в диапазоне представительных энергетических классов  $K_p=8-12$ ; 3, 4 – то же по Эльбурскому району, с аппроксимацией в диапазоне  $K_p=9-12$ ; 5, 6 – то же по Туркмено-Хорасанскому району с аппроксимацией в диапазоне  $K_p=8-12$ ; 7, 8 – то же по Восточному Туркменистану с аппроксимацией в диапазоне  $K_p=9-11$ ; 9, 10 – то же по Копетдагскому региону в целом с аппроксимацией в диапазоне  $K_p=9-12$ .

Систематическое завышение значений уровня надежной регистрации землетрясений минимум тремя станциями  $K_{3min}$ , по сравнению с  $K_{\gamma min}$  (табл. 3), связано с тем, что при расчете карт  $K_{3min}$  исходят из предположения, что каждое землетрясение зарегистрировано минимум тремя станциями, для которых:

- определены четкие времена вступлений  $P$ - и  $S$ -волн,
- минимальные амплитуды  $P$ -волн, различимые на фоне помех, равны  $A_p=0.5$  мм.

В то же время в банк сейсмологических данных и каталог землетрясений Копетдагского региона включаются и землетрясения, которые локализованы по вступлениям только одного типа волн ( $P$  или  $S$ ) по данным 1–2 станций и азимутам на эпицентр, с дополнительной дифференциацией минимального уровня полезного сигнала на разных станциях, а также в дневное и ночное время, как это видно из анализа уровня дневных и ночных помех на станции «Геокача». С учетом вышесказанного, параметр  $K_{\gamma min}$  отражает, скорее всего, энергетический уровень предельной регистрации ( $K_p$  на рис. 1), а  $K_{3min}$  – ближе к надежной регистрации  $K_n$ , поэтому разница между ними закономерна.

Методика обработки записей землетрясений осталась прежней: кинематические параметры землетрясений региона определялись на основе региональных блочных годографов [4], энергетического класса  $K_p$  – по номограмме Т.Г. Раутиан [3], магнитуды  $MPVA$  – согласно [5], макросейсмические характеристики ощутимых землетрясений – на основе регионального уравнения макросейсмического поля [6]. Общее число зарегистрированных землетрясений в 2002 г. составило  $N_2=3560$  в диапазоне  $K_p=2.4-12.0$ . Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в их очагах, составила  $\Sigma E=6.56 \cdot 10^{12}$  Дж. Максимальное значение  $K_p=12.0$  имеют сразу три землетрясения, произошедшие 8 апреля в  $18^h30^m$ , 10 октября в  $12^h13^m$  и 11 ноября в  $12^h25^m$  [7].

Графическое изображение поля эпицентров 2002 г. дано в двух энергетических срезах –  $K_p \geq 8.6$  (рис. 6) и  $\leq 8.5$  (рис. 7). Общий вид приведенных полей эпицентров, без разделения их по районам, свидетельствует о наличии двух мощных сейсмических структур разной направленности, северо-западной и северо-восточной, сходящихся севернее г. Боджнурд.

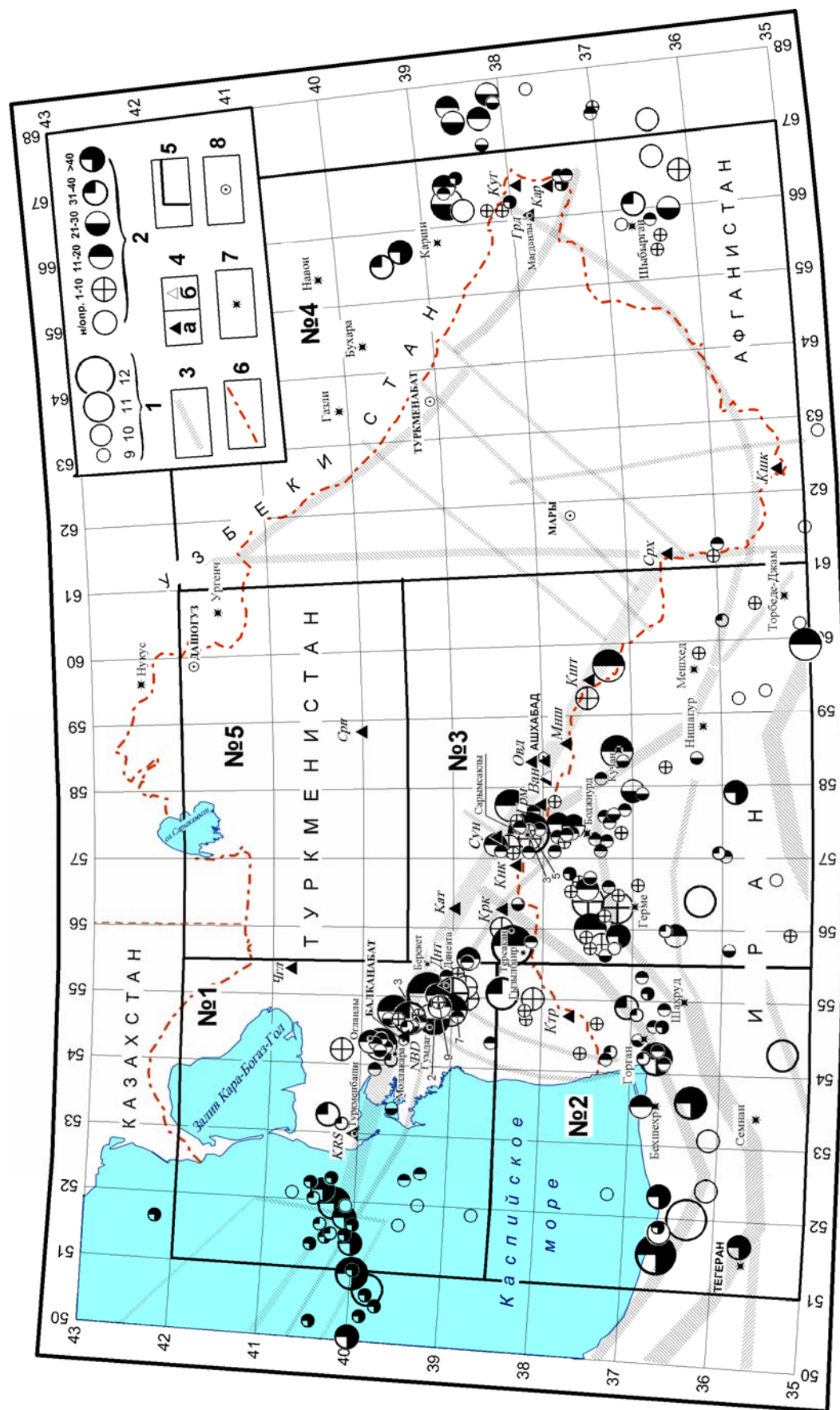


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений Копетдага с  $K_r \geq 8.6$  за 2002 г.

1 – энергетический класс  $K_r$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – глубинный разлом; 4 – сейсмическая станция; а – аналоговая, б – цифровая; 5 – граница сейсмоактивного района; 6 – государственная граница; 7 – населенный пункт; 8 – административный центр велаята (области) Туркменистана.



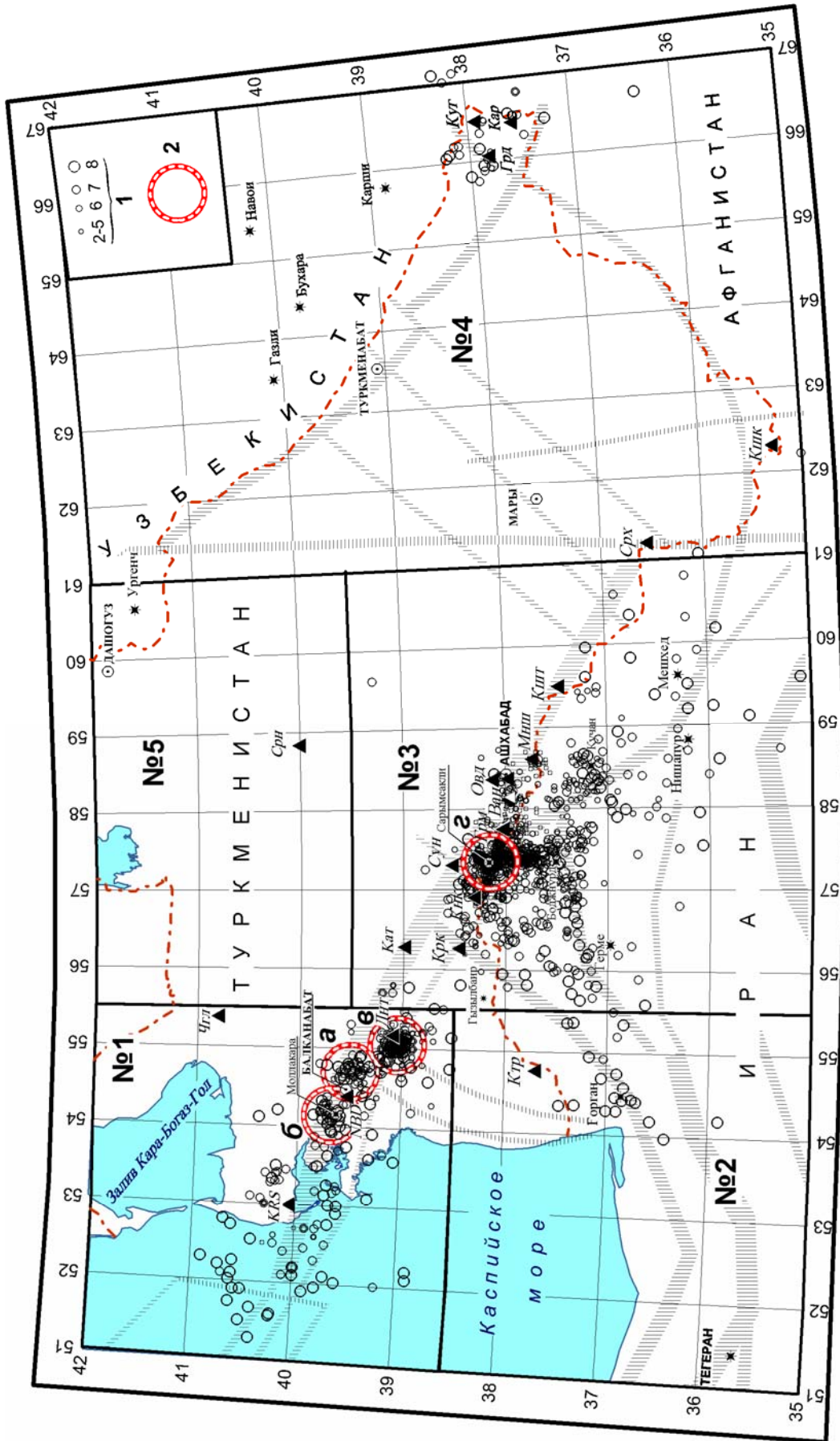


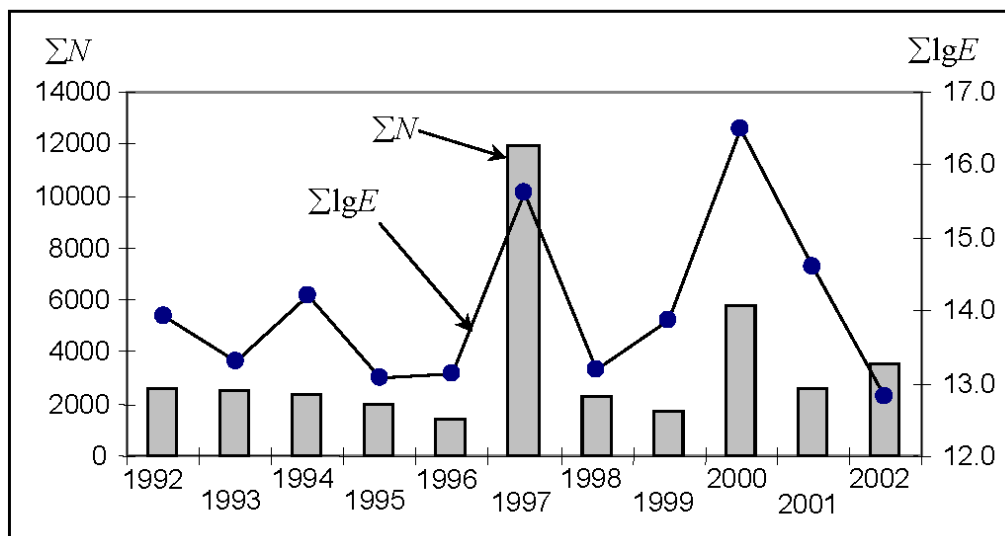
Рис. 7. Карта эпицентров слабых землетрясений Копетдага с  $K_r=2-8$  за 2002 г.

1 – энергетический класс  $K_r$ ; 2 (а-г) – круговые области выборки для построения графиков на рис. 10 и 11; другие обозначения те же, что на рис. 6.

Сравнение суммарных показателей уровня годовой сейсмичности Копетдага в целом с аналогичными сведениями за предыдущие 10 лет (табл. 4, рис. 8) свидетельствует о том, что количество сейсмической энергии в 2002 г. оказалось минимальным за последние 11 лет, хотя суммарное за год число землетрясений уступает лишь значениям  $\Sigma N$  за 1997 и 2000 гг., когда регистрировались афтершоки Боджнурдского (04.02.1997 г. с  $MS=6.6$  [8, 9]) и Балханского (06.12.2000 г. с  $MS=7.3$  [10]) землетрясений.

**Таблица 4.** Сводные данные о годовых числах землетрясений и суммарной энергии в регионе ( $\varphi=35-42^\circ N$ ,  $\lambda=51-67^\circ E$ ) за 1992–2002 гг.

Год	$K_p$										$N_\Sigma$	$\Sigma E$ , Дж
	2–7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1992	2048	343	150	42	17	2	4	1	–	–	2607	$82.8 \cdot 10^{12}$
1993	1922	325	157	55	23	12	1	–	–	–	2495	$20.4 \cdot 10^{12}$
1994	1737	333	176	77	16	3	4	1	–	–	2348	$156.2 \cdot 10^{12}$
1995	1595	228	95	39	11	1	2	–	–	–	1971	$12.2 \cdot 10^{12}$
1996	1070	210	98	52	20	3	1	–	–	–	1454	$13.4 \cdot 10^{12}$
1997	10050	1170	482	139	57	9	2	1	–	1	11911	$4102.4 \cdot 10^{12}$
1998	1685	363	173	49	10	2	1	–	–	–	2283	$15.1 \cdot 10^{12}$
1999	1196	278	161	65	19	11	3	1	–	–	1734	$73.5 \cdot 10^{12}$
2000	4531	763	304	94	31	6	4	2	–	1	5739	$31796.7 \cdot 10^{12}$
2001	1982	383	158	54	19	2	1	2	–	–	2601	$408.32 \cdot 10^{12}$
2002	3070	279	143	42	21	5	–	–	–	–	3560	$6.6 \cdot 10^{12}$



**Рис. 8.** Изменение во времени числа землетрясений  $N$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$ , выделившейся на территории Копетдагского региона ( $\varphi=35-42^\circ N$ ,  $\lambda=51-67^\circ E$ ) за 1992–2002 гг.

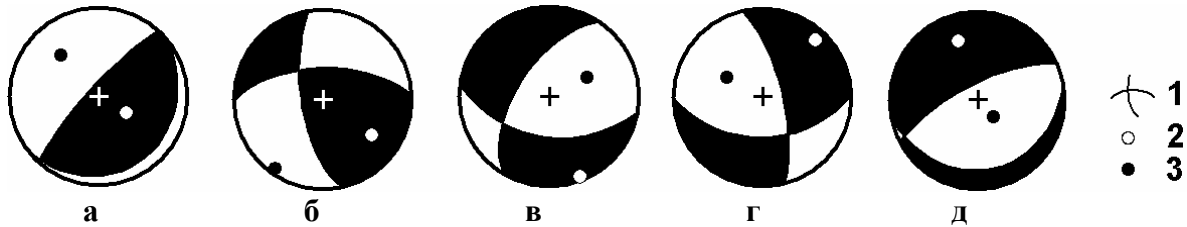
Следует отметить, что большое число землетрясений в 2002 г. связано в основном с обилием слабых толчков с  $K_p \leq 7$  (табл. 4). В каталог землетрясений Копетдага в наст. сб. [7] включены все землетрясения с  $K_p \geq 8.6$ , зарегистрированные и обработанные сейсмической службой Туркменистана в 2002 г., безотносительно указанных в табл. 3 границ. Однако в расчеты энергетической представительности  $K_{\gamma min}$  (рис. 5, табл. 5), годовой сейсмической энергии (табл. 4) и характеристик сейсмического режима по районам (рис. 6, табл. 5) включены сейсмические события, произошедшие только в границах Копетдагского региона, указанных в табл. 3 и на рис. 4, 6, 7.

**Таблица 5.** Распределение по районам числа землетрясений разных классов  $K_p$ , суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  и параметров сейсмического режима  $A_{10}$  и  $\gamma$  за 2002 г.

№	Район	$K_p$					$N_{\Sigma}$	$\Sigma E,$ <i>Дж</i>	$\gamma$	$A_{10}$	$\Delta K$
		8	9	10	11	12					
1	Балхано-Каспийский	122	51	10	8	1	192	$1.48 \cdot 10^{12}$	0.50	0.093	8–12
2	Эльбурский	18	18	8	4	2	50	$2.46 \cdot 10^{12}$	0.32	0.054	9–12
3	Туркмено-Хорасанский	129	59	16	8	2	214	$2.40 \cdot 10^{12}$	0.45	0.074	8–12
4	Восточный Туркменистан	10	15	8	1	–	34	$0.21 \cdot 10^{12}$	0.59	0.012	9–11
5	Центрально-Каракумский										
	КОПЕТДАГ	279	143	42	21	5	490	$6.55 \cdot 10^{12}$	0.47	0.045	9–12

Примечание. В графе « $\Delta K$ » приведен диапазон энергетических классов, в котором строились графики повторяемости для определения  $\gamma$  и  $A_{10}$ .

Каталог механизмов очагов за 2002 г., приведенный в [11], содержит решения для 5 землетрясений. Соответствующие им стереограммы представлены на рис. 9.



**Рис. 9.** Стереограммы механизмов очагов в проекции нижней полусферы для землетрясений: 21 июня в  $22^{\text{h}}59^{\text{m}}$  с  $K_p=10.6$  (а), 29 августа в  $22^{\text{h}}14^{\text{m}}$  с  $K_p=10.7$  (б), 19 октября в  $15^{\text{h}}52^{\text{m}}$  с  $K_p=11.7$  (в), 19 октября в  $16^{\text{h}}37^{\text{m}}$  с  $K_p=10.2$  (г) и 27 ноября в  $04^{\text{h}}55^{\text{m}}$  с  $K_p=11.3$  (д)

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

Ниже детально рассматривается сейсмический процесс отдельно по районам.

**В Балхано-Каспийском районе (№1)** число землетрясений и их суммарная энергия существенно понизились, по сравнению с аналогичными значениями за предыдущий год:  $N_{\Sigma}=192$  вместо 265,  $\Sigma E=1.48 \cdot 10^{12}$  Дж вместо  $81.43 \cdot 10^{12}$  Дж (табл. 5, [1]). Это обусловлено главным образом затуханием афтершоков в очаге Балханского землетрясения 06.12.2000 г. с  $MS=7.3$  [11]. Очаговая зона Балханского землетрясения, несмотря на ослабление афтершокового процесса, продолжала генерировать на протяжении 2002 г. землетрясения с  $K_p \leq 12$ , оконтурившие, как и в 2000–2001 гг., афтершоковую зону, вытянутую в северо-западном направлении, от с. Дянеаты до г. Балканабат (рис. 6).

Вместе с тем заметна концентрация слабых землетрясений:

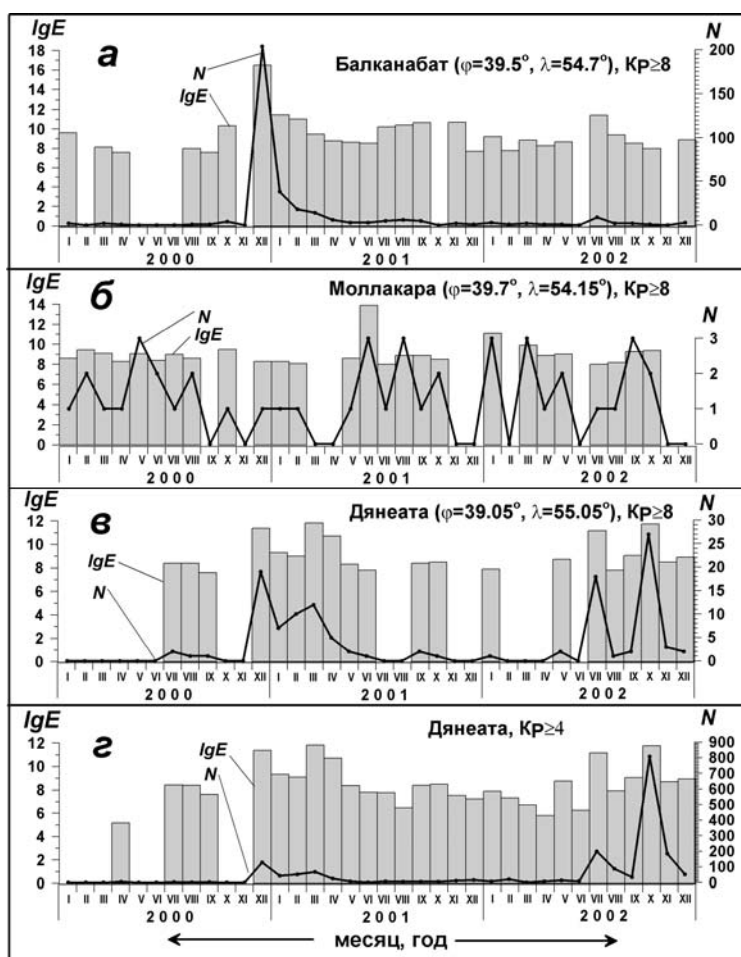
- в центре очаговой зоны, к востоку от г. Балканабат (окружность «а» радиусом 30 км на рис. 7),
- в ее юго-восточной части, вокруг сейсмической станции «Даната» (окружность «в» того же радиуса),
- за ее северо-западной границей, в районе курорта Моллакара (окружность «б»).

Максимальное число афтершоков приурочено к юго-восточной части очаговой зоны, оконтуренной окружностью «б» на рис. 7. Здесь 26 июля в  $11^{\text{h}}45^{\text{m}}$  произошло неглубокое ( $h=6$  км) землетрясение с  $K_p=11.1$ , которое имело интенсивность в эпицентре  $I_0^p=6$  баллов и проявилось в с. Дянеата ( $\Delta=16$  км) с  $I=4-5$  баллов; в Балканабате (75 км) – 2 балла. Максимальный в 2002 г. афтершок Балханского землетрясения зарегистрирован также в этой зоне 19 октября в  $15^{\text{h}}57^{\text{m}}$  с  $K_p=11.7$  и  $h=17$  км и ощущался в Дянеата (20 км) с  $I=4$  балла, в Берекете (40 км) – 3 балла, в Балканабате (64 км) – 2–3 балла. Тип подвижки в его очаге – правый сбросо-сдвиг по плоскости северо-восточной ориентации (NP1), или левый сбросо-сдвиг по субширотной плоскости (NP2) (рис. 9, в; [11]). Через 40<sup>м</sup> (в  $16^{\text{h}}37^{\text{m}}$ ) было зарегистрировано землетрясение с  $K_p=10.2$  из этого же очага. Удалось определить механизм его очага: правый сбросо-сдвиг по субширотной плоскости, или левый сбросо-сдвиг по субмеридиональной (рис. 9, г). Отметим, что преобладание

сбросовых механизмов очагов землетрясений с эпицентрами восточнее г. Гумдаг отмечалось ранее при анализе афтершокового процесса Кумдагского землетрясения 14.03.1983 г. с  $MLH=5.7$  [12].

К северо-западу от Балханской очаговой зоны продолжала действовать очаговая зона Моллакаринского землетрясения 10.06.2001 г. с  $K_p=13.9$  [1], отделенная от Балханской узким асейсмичным участком. Самое крупное ( $K_p=11.1$ ) землетрясение из этой зоны, возникшее 25 января в  $08^h13^m$ ,  $h=13$  км с расчетной интенсивностью  $I_0^p=4-5$  баллов, ощущалось с  $I=4$  балла в Огланлы (11 км), 3–4 балла – в Моллакара (25 км), 2–3 балла – в Балканабате (37 км), 2 балла – в Туркменбаши (110 км) [7].

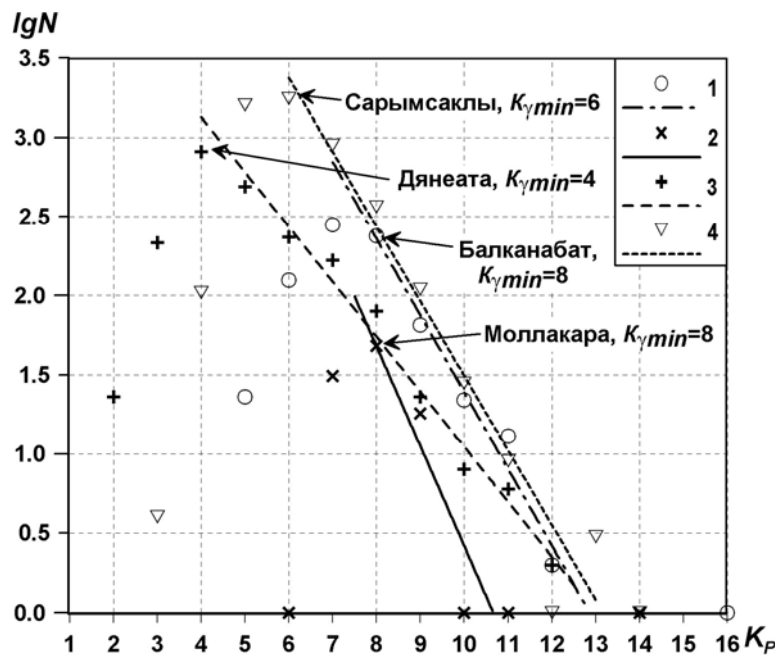
Следует отметить, что в [1] район Моллакара сочтен не принадлежащим собственно очагу Балханского землетрясения 06.12.2000 г. с  $MS=7.3$ , поскольку, как видно из рис. 10 а–в, помесячное распределение числа и энергии землетрясений за период 2000–2002 гг. в этой зоне асинхронно сейсмическому процессу в Балканабатской и Дянеатинской зонах, принадлежащих очаговой зоне Балханского землетрясения. Так, в мае–июне 2000 г., в период сейсмического затишья в Балканабатской и Дянеатинской зонах перед основным толчком (рис. 10а, 10в), Моллакаринская зона генерировала максимальные для этой зоны месячные числа землетрясений с  $K_p \geq 8$  (рис. 10, б). Наоборот, с декабря 2000 г. по апрель 2001 г., в период реализации основного толчка и интенсивного афтершокового процесса, проявившегося максимальными значениями  $\Sigma N$  и  $I_g \Sigma E$  в Балканабатской и Дянеатинской зонах, в Моллакаринской зоне наблюдалось сейсмическое затишье. Эти факты вместе с существованием асейсмичного участка, отделяющего Моллакаринскую зону от Балханской (рис. 6), подтверждают предположение о том, что Моллакаринская зона – самостоятельная и не связана с очагом Балханского землетрясения.



**Рис. 10.** Изменение во времени чисел землетрясений представительного уровня (согласно рис. 11) и суммарной их энергии за 2000–2002 гг. в трех зонах радиусом 30 км: Балканабатской (а), Моллакаринской (б) и Дянеатинской (в и г)  
Координаты центров окружностей каждой выборки указаны в скобках.

Как отмечалось ранее при анализе афтершоковой деятельности Янгаджинского землетрясения 01.07.1994 г. с  $K_p=14$ ,  $MS=6.4$  [13], Дюзмергенского 19.07.1996 г. с  $K_p=12.1$ ,  $MS=4.1$  [14], Моллакаринского 10.06.2001 г.,  $K_p=13.9$ ,  $MS=5.1$  [1] и других землетрясений, слабое группирование сейсмических событий и небольшое число афтершоков – характерная черта землетрясений Кубадаг-Большебалханского тектонического блока, сформированного на северном крыле западного участка Копетдаг-Балханского разлома между г. Берекет и г. Туркменбаши (рис. 6). Это подтверждает и небольшое месячное число сейсмических событий с  $K_p \geq 8$  в Моллакаринской зоне (рис. 10, б). Всего в радиусе 30 км от эпицентра Моллакаринского землетрясения (окружность «б» на рис. 7) в 2002 г. зарегистрировано 45 толчков с  $K_p=6.5-11.1$ , из них по одному с  $K_p=10$  и 11, шесть – с  $K_p=9$ , 19 – с  $K_p=8$  и 17 – с  $K_p=6-7$ . Для сравнения отметим, что в радиусе 30 км от эпицентра Балханского землетрясения (окружность «а» на рис. 7), приуроченного к тому же блоку земной коры, зарегистрировано 62 толчка, из которых три с  $K_p=11$ , ни одного – с  $K_p=10$ , девять – с  $K_p=9$ , 13 – с  $K_p=8$  и 36 – с  $K_p=5-7$ .

В отличие от Балканабатской и особенно Моллакаринской зон, беспрецедентным числом зарегистрированных в 2002 г. землетрясений выделяется Дянеатинская очаговая зона, которая и ранее генерировала большое число слабых толчков, часто образующих роевые последовательности. В пределах этой зоны, околуренной окружностью «в» на рис. 7, в 2002 г. локализовано 1654 землетрясения, из которых одно – с  $K_p=12$ , два – с  $K_p=11$ , четыре – с  $K_p=10$ , 14 – с  $K_p=9$ , 35 – с  $K_p=8$  и 1598 (!) – с  $K_p=2-7$ . Такое множество слабых толчков не связано с изменением энергетического уровня представительной их регистрации в районе Дянеата в сторону понижения, как можно было бы предположить в связи с введением высокочувствительной цифровой станции «Геокча». Согласно графику предельной регистрации для этой станции на рис. 1, она может регистрировать в районе Дянеата на расстоянии 290 км лишь землетрясения  $K_p \geq 7.2$ , тогда как фактический уровень представительности в Дянеатинской зоне радиусом 30 км, определенный по левому загибу графика повторяемости, соответствует  $K_{ymin}=4-5$  (рис. 11). Этот уровень, как показало исследование дальности регистрации находящейся в центре 30-километровой зоны станции «Даната» с  $V_{max}=40000$ , обеспечивается ею в радиусе 25–30 км. Таким образом, в 2002 г. в районе Дянеата произошло усиление группирования землетрясений (рис. 11в, г), которое можно объяснить, в частности, снятием напряжений в очаге Балханского землетрясения и концентрацией их на границах очаговой зоны.



**Рис. 11.** Графики повторяемости и энергетические уровни представительности  $K_{ymin}$  для землетрясений Балхано-Каспийского района в его четырех очаговых зонах радиусом 30 км (рис. 7) за 2000–2002 гг.

1–4 – наблюдаемые значения  $lg N(K_p)$  и осредняющие прямые графиков повторяемости землетрясений представительных классов для зон: Балканабатской (1), Моллакаринской (2), Дянеатинской (3) и Сарымсаклинской (4); зоны показаны на рис. 7.

В акватории Каспия в 2002 г. отметим три землетрясения с  $K_p \geq 11$ : 23 января в  $03^h 02^m$   $K_p=11.0$ , 11 февраля в  $16^h 18^m$  и в  $21^h 20^m$  с  $K_p=11.5$  и  $11.0$  соответственно. Первое из них было ощутимым с  $I=2$  балла в г. Туркменбаши (89 км). С такой же интенсивностью в г. Туркменбаши проявилось более слабое ( $K_p=9.9$ ) землетрясение, зарегистрированное 16 апреля в  $03^h 49^m$  в 35 км к северо-востоку от этого города.

В Эльбурском районе (№ 2) выделявшаяся в 2002 г. сейсмическая энергия и сейсмическая активность существенно повысились ( $\Sigma E=2.46 \cdot 10^{12}$  Дж вместо  $0.56 \cdot 10^{12}$  Дж,  $N_\Sigma=50$  вместо 38 (табл. 5, [1]), при неизменном наклоне графика повторяемости, следовательно, повысились числа землетрясений всех энергетических классов. Два самых крупных ( $K_p=12.0$ ) землетрясения произошли на южном побережье Каспия, в Иране (рис. 6). Там же, южнее Каспийского моря, можно отметить еще два заметных толчка в зоне Эльбурского разлома. Первое, зарегистрированное 28 июня в  $19^h 57^m$  с  $K_p=11.2$  в 45 км южнее иранского г. Бехшехр, не имело афтершоков с  $K_p \leq 9$ . Второе, произошедшее 27 ноября в  $04^h 55^m$  с  $K_p=11.2$  вблизи г. Горган (Иран), сопровождалось несколькими фор- и афтершоками с  $K_p \geq 9$  (рис. 6).

На территории Туркменистана в 50 км к северу от станции «Кизыл-Атрек» 5 августа в  $05^h 25^m$  реализовалось землетрясение с  $K_p=9.9$ . Оно сопровождалось афтершоками, среди которых было два с близкой энергией (27 августа в  $15^h 41^m$  с  $K_p=9.2$  и 28 августа в  $14^h 18^m$  с  $K_p=9.5$ ). Вероятно, все три толчка явились форшоками более крупного ( $K_p=10.8$ ) землетрясения 29 августа в  $15^h 16^m$ , произошедшего севернее предваряющих толчков.

В Туркмено-Хорасанском районе (№ 3) сейсмическая активность  $A_{10}$  несколько повысилась при одновременном понижении параметра  $\gamma$  в связи с тем, что число землетрясений с  $K_p=8-10$  уменьшилось, а с  $K_p=11-12$ , наоборот, возросло (табл. 5 по сравнению с табл. 4 в [1]). Максимальные ( $K_p \geq 12$ ) землетрясения в этом районе произошли в 2002 г. на территории Туркменистана.

Первое из них, локализованное в 16 км к северо-востоку от с. Гызылбаир (рис. 6), отмечено 11 сентября в  $16^h 20^m$  с  $K_p=11.7$  и явилось продолжением августовской серии землетрясений, зарегистрированных в 60–70 км западнее (см. описание по Эльбурскому району и рис. 6). Землетрясение 11 сентября имело два афтершока 9-го и один 10-го классов. Главный толчок ощущался с  $I=4$  балла в Гызылбаире (16 км), Терсакане (19 км) и 3 балла – в Гарригала (47 км).

Второй толчок 12-го класса реализовался 11 ноября в  $12^h 25^m$  вблизи с. Сарымсаклы Бахарденского района. Он ощущался с  $I=5$  баллов в селах Сарымсаклы (3 км), Прохладное (3 км) и 3–4 балла в Бахарлы (32 км), Кенекесир, Гермап (37 км).

Сейсмичность Южно-Бахарденского района, где произошло вышеупомянутое Сарымсаклинское землетрясение, активизировалась еще в августе–сентябре 2000 г. [15], когда произошла серия землетрясений, включая одно с  $K_p=14$  и три с  $K_p=13$  (рис. 12). Район оставался активным и в 2001 г. [1], и в 2002 г. Здесь зарегистрировано большое число землетрясений с  $K_p \leq 10$ .

29 августа в  $22^h 14^m$  в 40 км от эпицентра Сарымсаклинского землетрясения произошел толчок с  $K_p=10.7$ , который можно считать его форшоком, хотя он расположен за пределами 30-км зоны, показанной на рис. 7. Подвижка в его очаге типа правостороннего сдвига-надвига по субмеридиональной плоскости, или левостороннего сдвига-надвига – по субширотной (рис. 9,б).

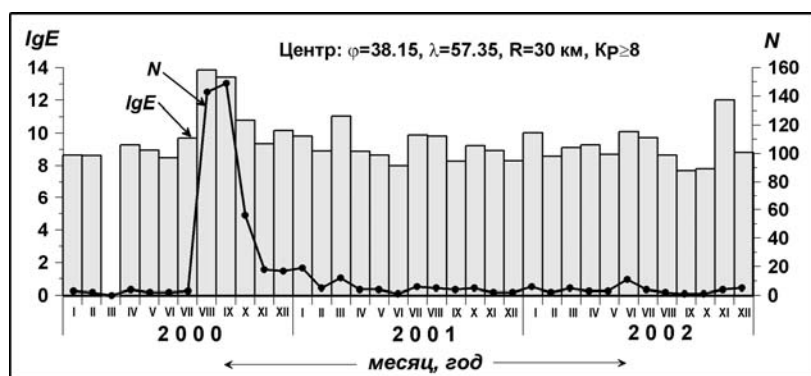


Рис. 12. Изменение во времени чисел землетрясений и суммарной их энергии за 2000–2002 гг. в 30-км зоне вокруг эпицентра Сарымсаклинского землетрясения 11 ноября 2002 г. с  $K_p=12.0$

Примечательно, что самый крупный ( $K_p=10.7$ ) форшок Сарымсаклинского землетрясения произошел 29 августа, как и самый крупный форшок ( $K_p=10.8$ ) упомянутого ранее Гызылбаирского землетрясения, что указывает на единство тектонического процесса, вызвавшего оба главных толчка.

Другим местом концентрации эпицентров землетрясений на территории района № 3 является зона к северу от иранского г. Герме, где в течение всего 2002 г. регистрировались землетрясения с  $K_p \leq 11$  (рис. 6). Отметим три из них, произошедших 25 февраля в 23<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $K_p=10.9$ , 21 июня в 22<sup>h</sup>59<sup>m</sup> с  $K_p=10.6$  и 27 ноября в 04<sup>h</sup>55<sup>m</sup> с  $K_p=11.3$ . Подвижка в очаге землетрясения 21 июня представляет собой взброс по крутой плоскости или надвиг по пологой, причем обе нодалные плоскости имеют северо-восточную ориентацию (рис. 9, а), совпадающую с положением Мешхед-Горганского разлома (рис. 6). В очаге землетрясения 27 ноября ориентация нодалных плоскостей  $NP1$  и  $NP2$  та же самая, но направление подвижки сменилось на противоположное – сброс или поддвиг (рис. 9, д).

На территории **Восточного Туркменистана (№ 4)** сейсмическая активность и выделившаяся сейсмическая энергия существенно понизились ( $A_{10}=0.012$  и  $\Sigma E=0.21 \cdot 10^{12}$  Дж в 2002 г. по сравнению с  $A_{10}=0.021$  и  $\Sigma E=3.25 \cdot 10^{14}$  Дж в 2001 г. [1]). Это связано главным образом с затуханием серии афтершоковой Камашинского-III землетрясения 18.01.2001 г. с  $K_p=14.5$  [1, 16], в радиусе 50 км от эпицентра которого в 2002 г. зарегистрировано лишь по два афтершока с  $K_p=9, 10$  и один с  $K_p=11$  (рис. 6). Несколько землетрясений с  $K_p=10$  произошли к северу и западу от этой зоны. По три толчка с  $K_p=9$  произошло вблизи станций «Кугитанг» и «Карлюк».

На территории Афганистана, в районе г. Шыбырган, возникло несколько землетрясений с  $K_p=9-10$ . В традиционно активной Газлийской зоне не зарегистрировано ни одного сейсмического события с  $K_p \geq 9$  (рис. 6).

#### Л и т е р а т у р а

1. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Безменова Л.В., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 120–139.
2. Аранович З.И., Ахалбедашвили А.М., Гоцадзе О.Д., Деканосидзе Ц.А. Методика расчета эффективности сети региональных сейсмических станций на примере Кавказа // Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмологических наблюдений. – Тбилиси: Мецниереба, 1977. – С. 27–57.
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., Славина Л.Б. Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.
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. 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).
8. 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.
9. 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.
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) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 306–320.
11. Аннаорова Т.А., Безменова Л.В., Чепкунас Л.С. (отв. сост.). Копетдаг. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).

12. **Голинский Г.Л., Аннаорова Т.А., Рахимов А.Р.** Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1983 г. – М.: Наука, 1986. – С. 38–45.
13. **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.
14. **Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Рахимов А.Р.** Дюзмергенское землетрясение 19 июля 1996 года,  $M_S=4.1$ ,  $I_0=5-6$  (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ГС РАН, 2002. – С. 190–197.
15. **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.
16. **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.