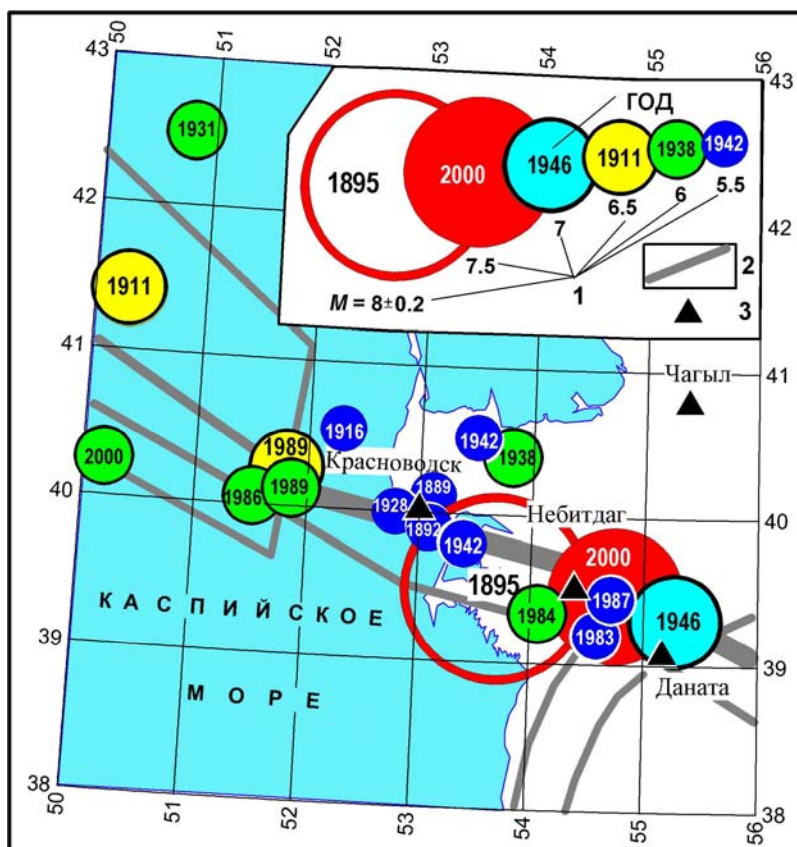


**БАЛХАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 6 декабря 2000 года с  $MS=7.3$ ,  $I_0=8-9$  (Копетдаг)**

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

*Научно-исследовательский институт сейсмологии Министерства строительства и промышленности строительных материалов Туркменистана, г. Ашхабад, [gaipsr@online.tm](mailto:gaipsr@online.tm)*

6 декабря 2000 г. в 17<sup>h</sup>11<sup>m</sup> на территории Западного Туркменистана произошло сильное ошутимое Балханское землетрясение с магнитудой  $MS=7.3$  [1]. Это землетрясение – самое мощное на территории Туркменистана за последние несколько десятков лет. По магнитуде оно сравнимо с Ашхабадским землетрясением 05.10.1948 г. с  $M=7.3$  и Казанджикским 04.11.1946 г. с  $M=7.0$  [2]; к последнему оно близко также по местоположению (рис. 1). За последние два десятилетия в окрестностях очага Балханского землетрясения регистрировалась высокая сейсмическая активность, не раз проявлявшаяся землетрясениями с  $M \geq 5.0$ : Кумдагское землетрясение 14.03.1983 г. с  $K_p=13.8$ ,  $M=5.7$  [3]; Бурунское 1984 г. с  $K_p=14.4$ ,  $M=5.9$  [4]; Небитдагское 07.09.1987 г. с  $K_p=13.1$ ,  $M=5.3$  [5]. Согласно рис. 1, из всех землетрясений Западного Туркменистана, начиная с 1876 г., Балханское землетрясение уступает по магнитуде лишь катастрофическому ( $I_0=10$  баллов) Краснодарскому землетрясению 08.07.1895 г. с  $M=8.2$  [2].



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений Балхано-Каспийского района за 1895–2000 гг. с  $M \geq 5.3$

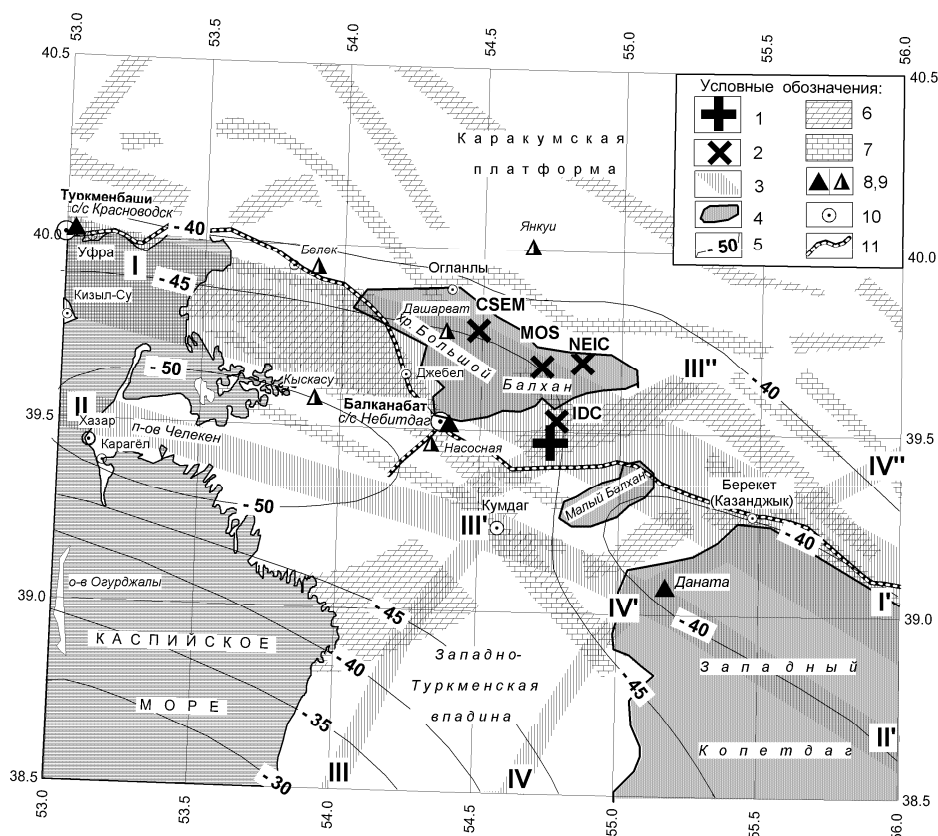
1 – магнитуда; 2 – разломная зона; 3 – сейсмическая станция.

**Параметры землетрясения** оценивались по данным 20 стационарных сейсмических станций Туркменистана [6]. Координаты его эпицентра определены по временам вступлений  $P$ -волн, т.к. вступления  $S$ -волн на всех станциях, кроме «Ашхабад» ( $t_s$ : 17<sup>h</sup>12<sup>m</sup>34<sup>s</sup>), нечеткие (табл. 1).

**Таблица 1.** Времена вступлений Р-волн Балханского землетрясения по данным сейсмических станций Туркменистана

№	Станция	$t_p$ , ч мин с	№	Станция	$t_p$ , ч мин с
1	Небитдаг	17 11 15	11	Ванновская	17 11 53
2	Даната	17 11 18	12	ОвадANTEПЕ	17 11 54
3	Кизыл-Арват	17 11 28.5	13	Серный	17 11 54
4	Каракала	17 11 29	14	Ашхабад	17 11 55
5	Чагыл	17 11 30	15	Маньш	17 12 00
6	Красноводск	17 11 32.5	16	Каушут	17 12 10.5
7	Кизыл-Атрек	17 11 38	17	Кушка	17 12 50.5
8	Кенекесир	17 11 39	18	Гаурдак	17 13 12
9	Сунча	17 11 41.5	19	Карлюк	17 13 14.5
10	Гермаб	17 11 48.5	20	Кугитанг	17 13 17.5

Сейсмические станции расположены относительно эпицентра в азимутальном створе ( $0^\circ-20^\circ$ )– $292^\circ$ , с углом охвата  $\sim 272^\circ$  и расположены на расстояниях от 35 до 1040 км. Было произведено несколько расчетов гипоцентра по различным выборкам станций, все результаты оказались достаточно близкими. Ближайшие к эпицентру станции позволяют определить глубину с хорошей точностью. В итоге были получены следующие параметры Балханского землетрясения:  $t_0=17^h 11^m 06^s (\pm 0.75 c)$ ,  $\varphi=39.47^\circ N (\pm 14 км)$ ,  $\lambda=54.75^\circ E (\pm 13 км)$ ,  $h=45 км (\pm 4 км)$ ,  $K_p=16.5$ . Глубина гипоцентра совпадает с глубиной залегания границы Мохоровичича (рис. 2). Возможно, на самом деле нижняя граница очага залегает гораздо глубже, так как Балханское землетрясение ощущалось на обширной территории, до Санкт-Петербурга (2835 км) [7].



**Рис. 2.** Местоположение эпицентра Балханского землетрясения

1 – эпицентр по региональным данным; 2 – эпицентр по данным CSEM, MOS, NEIC, IDC; 3 – сейсмогенерирующие зоны по [8, 9]: I–I' – Копетдаг-Большебалханская, II–II' – Хазар-Кюрендагская; III–III' – Окаремская, III'–III'' – Межбалхан-Узбойская по [10]; IV–IV' – Шахманская; IV'–IV'' – Берекет-Дуебоюнская; 4 – области поднятий; 5 – глубина залегания границы Мохоровичича [11]; 6 – градиентные зоны поля силы тяжести; 7 – зоны аномальных элементов магнитного поля; 8 – стационарная сейсмическая станция; 9 – временная станция «Черпаха»; 10 – город; 11 – железная дорога.

С точки зрения тектоники эпицентр Балханского землетрясения приурочен к Межбалханскому тектоническому узлу пересечения Копетдаг-Большебалханской сейсмогенной зоны северо-западного простирания с Межбалхан-Узбойским разломом северо-восточной ориентации, которому А.И. Полетаев [10] отводит особое место в геодинамической модели зоны Копетдаг-Большебалханского (Главного Копетдагского) разлома. Указанная зона состоит из двух звеньев – Северо-Балханского и Предкопетдагского разломов. При этом эпицентр Балханского землетрясения, по данным ССТ, приурочен к западному окончанию Предкопетдагского разлома. Межбалханский тектонический узел характеризуется отрицательной формой рельефа с вертикальной амплитудой 2–4 км, повышенной раздробленностью геологических структур, неупорядоченным (дезориентированным) простиранием и смешанными кинематическими типами разрывов. Вблизи эпицентра пересекаются градиентные зоны аномальных элементов магнитного поля северо-западного простирания и поля силы тяжести северо-восточного простирания.

Сравнение регионального эпицентра с таковыми по другим сейсмологическим центрам показано в табл. 2 и на рис. 2, откуда видно, что наилучшее согласие с решением IDC.

**Таблица 2.** Основные параметры Балханского землетрясения 6 декабря по данным сейсмической службы Туркменистана (ССТ) и других агентств

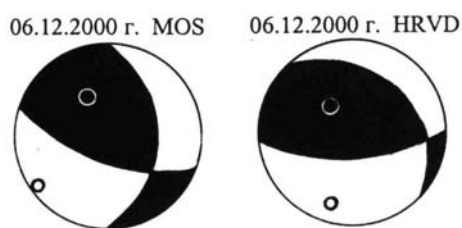
Агентство	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр				$h$ , км	$\delta h$ , км	Магнитуды	Источник
		$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$\delta$ , км	$n$ с/ст				
ССТ	17 11 06	39.47	54.75	14	20	45	4	$K_p=16.5$	[12]
MOS	17 11 07.5	39.68	54.71		141	33		$M_S=7.3, MPLP=7.4, MPSP=6.7,$ $M_0=3.7 \cdot 10^{19} \text{ H}\cdot\text{м}$	[1]
ISC	17 11 06.6	39.49	54.81	16	218	33		$M_S=7.4, m_b=6.7$	[13]
NEIC	17 11 06.4	39.57	54.80		169	30		$M_w=7.2, M_S=7.5, m_b=6.7$	[13]
HRVD	17 11 14.7	39.6	54.87			33		$M_w=7.0, M_0=3.9 \cdot 10^{19} \text{ H}\cdot\text{м}$	[13]
IDC	17 11 02.6	39.43	54.72		23	19.7		$m_b=6.4$	[13]
CSEM	17 11 05.3	39.78	54.49		156	10		$M_S=7.2, m_b=6.7$	[14]

**Механизм очага основного толчка.** В табл. 3 приведены решения механизма очага Балханского землетрясения, полученные разными методами в различных сейсмологических центрах: 1, 5 – в Гарвардском сейсмологическом центре (HRVD, США) по методу тензора момента центра (1 – предварительное быстрое решение [14], 5 – окончательное [13]); 2, 3 – в срочном режиме ИОЦ ГС РАН [14] и сейсмологическом бюллетене ЦОМЭ ГС РАН [1] при использовании знаков первых вступлений в *P*-волнах; 4 – в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC) по методу тензора момента [13]). Определить механизм очага основного толчка по данным региональных станций, к сожалению, не удалось из-за плохого качества записи на большинстве сейсмических станций Туркменистана. Числа знаков первых вступлений на записях сейсмических станций Туркменистана из-за заворота зеркал гальванометров на большинстве из них оказалось недостаточно для самостоятельного решения, однако имеющиеся региональные данные не противоречат решениям 3, 5 в табл. 3. Отметим, что решения 1, 2, опубликованные на сайте Геофизической службы РАН, были получены в срочном режиме, и их следует рассматривать как предварительные. Поэтому в дальнейшем анализе подвергнем окончательные решения 3–5.

**Таблица 3.** Решения механизма очага землетрясения 6 декабря по данным различных сейсмологических центров

№	Сейсмологический центр	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
		<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
1	HRVD (предварительный)	67	322	20	110	11	204	318	38	124	97	59	66
2	ИОЦ ГС РАН	52	95	36	296	10	199	253	47	36	137	65	131
3	MOS	49	335	39	135	10	223	0	49	147	113	66	46
4	NEIC	59	323	23	99	19	198	321	33	136	89	68	65
5	HRVD	60	323	23	98	19	197	319	33	136	89	68	65

Как видно, значения элементов механизма очага для (4) и (5) практически одинаковы. В дальнейшем будем сравнивать между собой решения (3) и (5). Они также подобны (рис. 3). В обоих случаях оси сжатия близгоризонтальны и ориентированы в юго-западном направлении (разница в азимутах составляет  $26^\circ$ ). Плоскость  $NP1$  в решении (3) имеет меридиональное простирание, в решении (5) – северо-северо-западное. Тип движения в обоих решениях – взброс с компонентами сдвига, правостороннего по  $NP1$  для (3) и (5), левостороннего по  $NP2$  – для (3). За действующую плоскость разрыва в очаге выбираем нодальную плоскость  $NP2$ , имеющую близширотное простирание, совпадающее с ориентацией Копетдаг-Большебалханской сейсмогенной зоны (рис. 2). Вместе с тем меридиональная ориентация облака афтершоков (см. далее по тексту) свидетельствует в пользу выбора за действующую плоскости  $NP1$ . В этой связи можно предположить, что в реализации напряжений в очаге этого сильного землетрясения участвовали разрывы в двух направлениях, как, например, при Гоби-Алтайском землетрясении 1950 г. [15].



**Рис. 3.** Стереогаммы механизма очага Балханского землетрясения 6 декабря с  $MS=7.3$  в проекции нижней полусферы  
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернены области волн сжатия.

**Макросейсмические проявления** Балханского землетрясения и некоторых его афтершоков изучались на территории Туркменистана Г.Л. Голинским и А.Р. Рахимовым.

Следует отметить, что непосредственно в эпицентре населенные пункты отсутствуют, самый близкий расположен на расстоянии 13 км (табл. 4). В результате землетрясения на железнодорожных станциях Перевал, Ахча-Куйма, железнодорожном разъезде № 117 большинство жилых, служебных и специализированных зданий получили значительные повреждения конструктивных элементов, упали дымовые трубы. В некоторых местах насыпного железнодорожного полотна образовались продольные трещины в земле. Здесь интенсивность сотрясений составила  $I=8$  баллов.

В самом г. Газанджык было повреждено более 80% жилых индивидуальных домов местной постройки, возведенных большей частью из сырцового кирпича на глиняном растворе. Здания из жженого кирпича пострадали в меньшей степени. Общая оценка интенсивности сотрясений в Газанджыке составляет  $I=7-8$  баллов. С такой же интенсивностью землетрясение проявилось в селениях Айдин и Шаумян.

В Небитдаге (ныне г. Балканабат) получили повреждения отдельные здания современных конструкций, рассчитанных на 9-балльные сейсмические воздействия. Большинство наружных выводов печных труб одно- и двухэтажных домов полностью обрушилось в одном направлении – в южную сторону от эпицентра. В домах падала мебель, телевизоры, чугунные печки. В результате землетрясения отключилась электроэнергия, не было связи. Интенсивность сотрясений оценена в 7 баллов.

В Чагыле, по сообщению заведующего станции «Чагыл», землетрясение ощущалось с  $I=5-6$  баллов. В г. Туркменбаши, по сообщениям сотрудников расположенной здесь сейсмической станции «Красноводск», сотрясения достигли 5 баллов. В Ашхабаде интенсивность сотрясений составила 4 балла.

Данные о проявлениях Балханского землетрясения в Туркменистане на расстояниях до 170 км от эпицентра суммированы в табл. 4 и на рис. 4. Автор карты изосейст (Г.Л. Голинский) на основании данных о 8-балльных проявлениях землетрясения в населенных пунктах и преобладающем положении разрывных нарушений (рис. 4) ориентировал 8-балльную изосейсту в северо-западном направлении.

Таблица 4. Макросейсмические сведения о Балханском землетрясении 6 декабря с  $MS=7.3$

№	Пункт	Δ, км	№	Пункт	Δ, км
	<u>8 баллов</u>		38	Ягман	90
1	Кол. Кызпара	13		<u>6 баллов</u>	
2	Перевал	20	39	Куйджик	65
3	Ж/д разъезд № 117	20	40	Кол. Бургун	80
4	Дувунчи	20	41	Ыбык	80
5	Ахча-Куйма	23	42	Им. 26 Бакинских комиссаров	85
6	Аджикум	25	43	Кульмач	90
7	Кол. Тамыклы	30	44	Аккую	93
	<u>7–8 баллов</u>		45	Ирикли	95
8	Айдин	30	46	Ок	97
9	Шаумян	35	47	Парау	100
10	Газанджык	48	48	Ж/д разъезд №	100
	<u>7 баллов</u>		49	Черкезли	103
11	Кол. Шорджа	42	50	Кол. Шатлы	105
12	Ясхан	45	51	Тюрдже	105
13	Ж/д разъезд № 121	48	52	Ж/д разъезд ст. Джанахир	108
14	Гезекуй	48	53	Белек	113
15	Обой	48		<u>5–6 баллов</u>	
16	Дянеата	48	54	Сарыходжа	95
17	Капланглы	50	55	Гогерендаг	98
18	Худайберды	50	56	Кол. Шаберды	98
19	Балаишем	53	57	Кол. 40 лет ТССР	100
20	Балла-Ишем	55	58	Небитдагнефть	110
21	Огланлы	60	59	Кол. Едиховуз	112
22	Дашарбат	65	60	Кошоба	115
23	Учгез	65	61	Джанахыр	116
24	Готин	65	62	Гызыларбат	120
25	Узун-Су	65	63	Котурдепе	125
26	Куюлар	65	64	Пурнуар	130
27	Огланлыоба		65	Тутлы	130
	<u>6–7 баллов</u>		66	Ж/д разъезд № 108	133
28	Гумдаг	60	67	Адзыкыр	135
29	Небитдаг	65	68	Чемени	140
30	Ж/д разъезд № 123	70	69	Хелес	145
31	Джебел	75	70	Кара-Тенгир	145
32	Моллакара	80	71	Ж/д разъезд ст. Кодж	148
33	Дюзмерген	80	72	Хасан	150
34	Ж/д разъезд № 124	80	73	Кодж	150
35	Ж/д разъезд № 112	80	74	Янгаджа	158
36	Искандер	88	75	Карагель	165
37	Кол. Керчек	88	76	Азизбеково	168
			77	Челекен	170

Примечание. Наименования пунктов приводятся согласно карте: Туркменистан. Масштаб 1:1000000. Ашхабад, 1993 г.; сокращение «Ж/д» означает – железнодорожный, «кол.» означает – колодец.

Балханское землетрясение ощущалось также на обширной территории за пределами Туркменистана [7].

**Предшествующая сейсмичность до 2000 г.** Надо отметить, что Балханское землетрясение не было неожиданным для сейсмологов Туркменистана. Дело в том, что во второй половине 90-х годов XX столетия в районе хр. Большой Балхан наблюдался ряд аномалий, на основе чего Институт сейсмологии в 1999 г. организовал Небитдагский сейсмогеофизический полигон, оснастив его автоматическими станциями типа «Черепаша» и комплексом геофизической аппаратуры. Поступавшая информация с нарастающим темпом указывала на прогностические признаки готовящегося землетрясения.

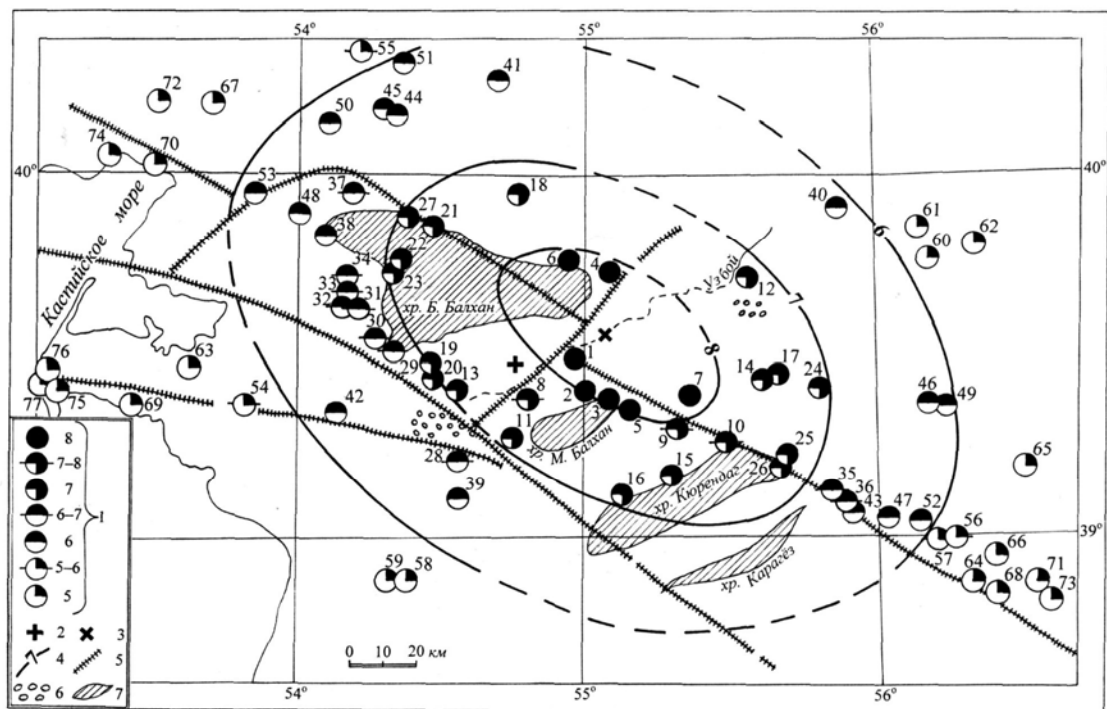


Рис. 4. Карта изосейст Балханского землетрясения 6 декабря в 17<sup>h</sup>11<sup>m</sup> с  $K_p=16.5$ ,  $M_S=7.3$

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [16]; 2, 3 – эпицентр, инструментальный и макросейсмический соответственно; 4 – изосейста; 5 – глубинный разлом; 6 – структурные элементы; 7 – контуры поднятия.

В частности, одним из предвестников явилось понижение уровня сейсмической активности, наблюдавшееся в течение нескольких предыдущих лет во всем Балхано-Каспийском районе (рис. 5). Отметим, однако, что, как следует из рис. 5, несмотря на повышение сейсмической активности в 2000 г., она не достигла соответствующего уровня активности в 1986 и 1989 гг., когда землетрясения с меньшей магнитудой сопровождались гораздо большим числом афтершоков (Каспийские землетрясения 06.03.1986 г. с  $M_S=6.1$ ,  $I_0=7-8$  баллов [17] и 16.09.1989 г. с  $M_S=6.3$ ,  $I_0=6-7$  баллов [18]).

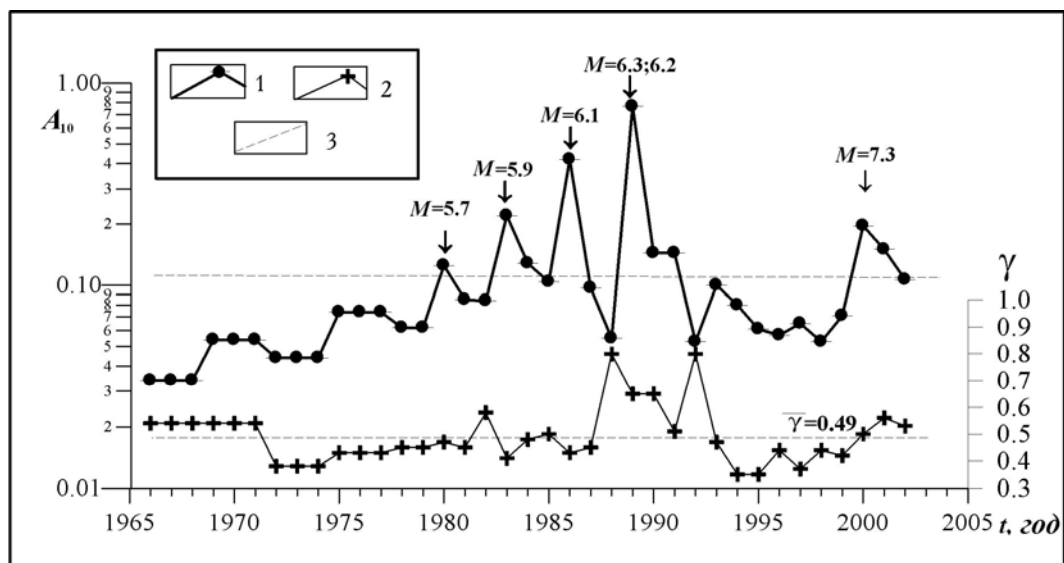


Рис. 5. Среднегодовые значения сейсмической активности  $A_{10}$  (1) и  $\gamma$  (2) в Балхано-Каспийском районе за 1966–2002 гг.

Пунктиром показаны средние за весь период значения  $A_{10}$  и  $\gamma$ , стрелки указывают моменты возникновения землетрясений с  $M \geq 5.5$ .

Другим весьма информативным признаком явился пространственно-временной график сейсмического режима западного фланга Копетдаг-Большебалханской разломной зоны за 20 лет, представленный на графике рис. 6 (ось абсцисс соответствует осевой линии выделенной пунктиром протяженной зоны, показанной ниже на рис. 8). Идея построения таких графиков принадлежит Ю.В. Ризниченко на примере Гармского полигона в Таджикистане [19]. Их использование для прогноза также впервые предложено в Таджикистане для линейно вытянутых сейсмогенных зон [20–22] с конкретным выходом на прогнозную карту мест возникновения сильных землетрясений на территории республики [23]. Как видно из рис. 6, на территории Балхано-Каспийского района с 1994 г. начала формироваться область сейсмического затишья на уровне энергетических классов  $K_p=10-11$  и выше, постепенно расширяющаяся и охватывающая значительные участки параллельных Копетдаг-Большебалханского и Хазар-Кюрендагского разломов. Таким образом период формирования пространственно-временной «бухты» сейсмического затишья составил шесть лет. Линейные размеры области подготовки непосредственно перед землетрясением превысили 200 км. Следует отметить, что внутри «бухты» с 1998 г. наблюдалась миграция землетрясений с  $K_p < 10$  (более слабых по сравнению с информативными по затишью землетрясений с  $K_p \geq 10-11$ ) к области очага будущего основного события, обозначенная двумя малыми стрелками. Аналогичная картина наблюдалась, например, перед Исфара-Баткенским землетрясением 31.01.1977 г. с  $K_p=15$ ,  $M_S=6.3$  в Таджикистане [24].

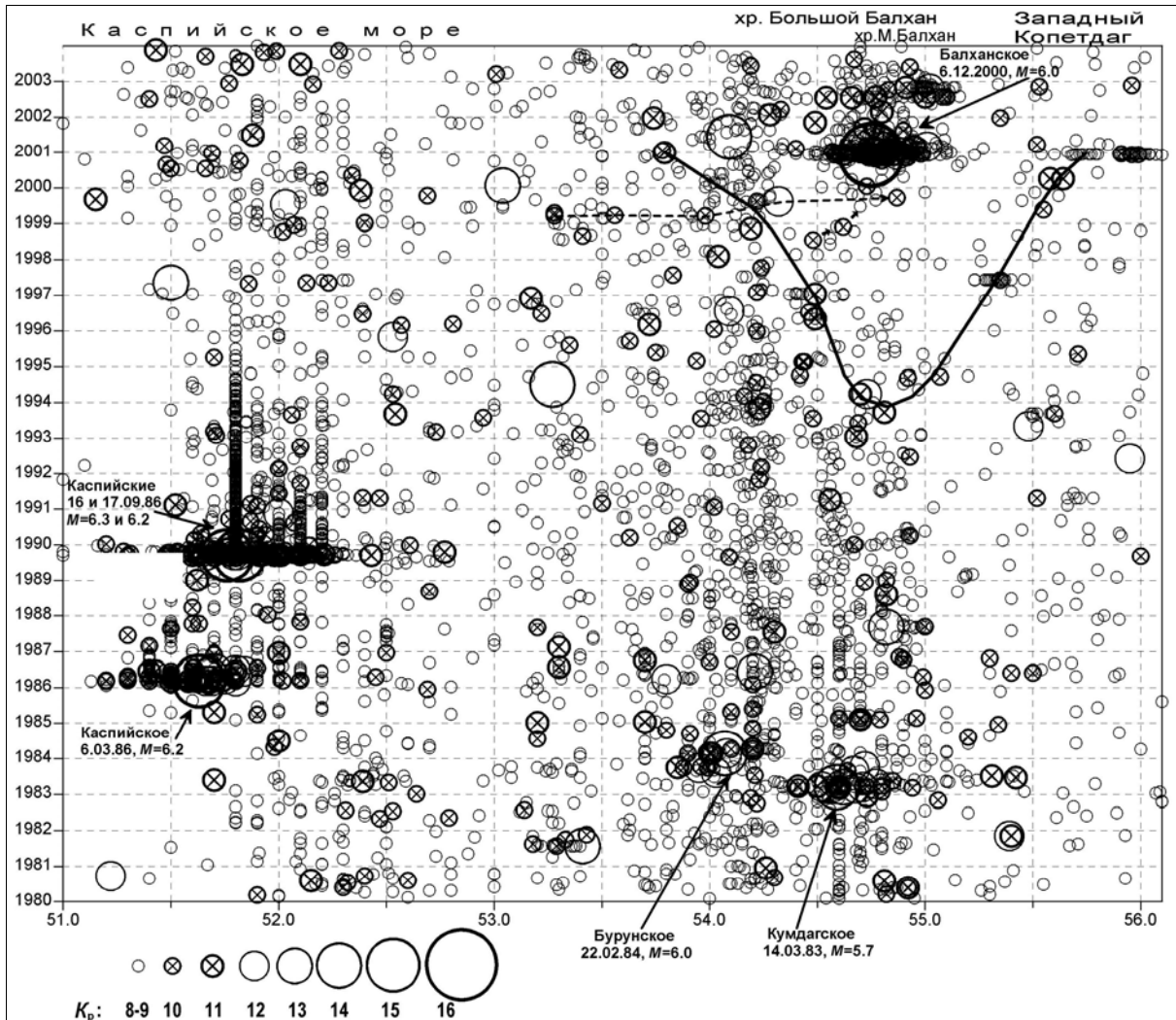


Рис. 6. Пространственно-временное распределение землетрясений западного фланга Копетдаг-Большебалханской зоны за 1980–2003 гг.

Более широкого плана сейсмомиграционные последовательности землетрясений наблюдались в 1999 г. вдоль Копетдаг-Большебалханского разлома в направлении с запада на восток, вплоть до Межбалханского коридора, где миграционная цепочка резко сменила направление на южное [25]. Именно в месте смены направления миграции 1999 г. и произошло Балханское землетрясение 2000 г.

**Предшествующая сейсмичность за январь–ноябрь 2000 г.** На рис. 7 показаны все зарегистрированные на восточном побережье Каспия сейсмические события  $K_p \geq 3$  с начала 2000 г. вплоть до основного толчка 6 декабря. Самым крупным из них было удаленное на 150 км от эпицентра основного толчка землетрясение 26 января в 23<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_p=12.7$ , которое произошло к северо-западу от п-ова Челекен в акватории Каспийского моря. Однако в районе Джебела и Кыскасу с начала года вплоть до декабря группировались слабые землетрясения с  $K_p \leq 9$  (рис. 7). Непосредственно вблизи будущего главного события на расстоянии не более 30 км отмечены три толчка с  $K_p=9-10$ : 17 января в 04<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_p=9.6$ , 5 октября в 17<sup>h</sup>11<sup>m</sup> с  $K_p=10.3$ , 12 октября в 22<sup>h</sup>57<sup>m</sup> с  $K_p=8.8$  (рис. 8, врезка). Они интересны по расположению их эпицентров вдоль прямой, совпадающей по ориентации с одной из нодальных плоскостей близмеридионального простирания и с направлением большой оси облака афтершоков. На участке южнее Даната группировались лишь слабые толчки с  $K_p \leq 8$ .

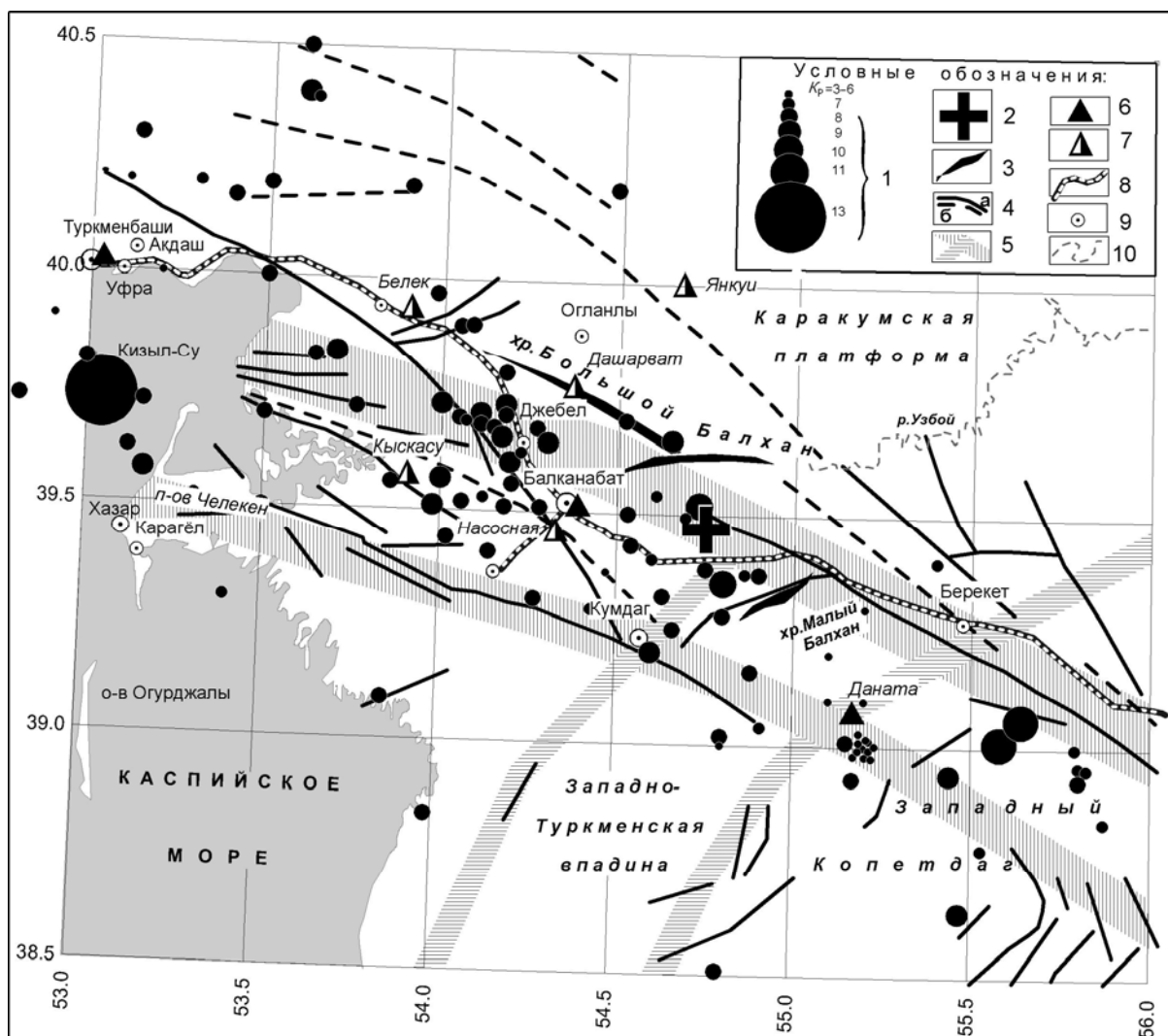


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений в исследуемом районе за период с 1 января по 5 декабря 2000 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – эпицентр Балханского землетрясения 6 декабря с  $M_S=7.3$ ; 3 – оси антиклиналей Большого и Малого Балхана; 4 – разрывные нарушения осадочного чехла по геолого-геофизическим данным (а) и результатам дешифрирования космических снимков (б) [26]; 5 – сейсмогенерирующие зоны, согласно [8, 9]; 6 – стационарная сейсмическая станция; 7 – временная станция «Черепаша»; 8 – железная дорога; 9 – город; 10 – русло р. Узбой.



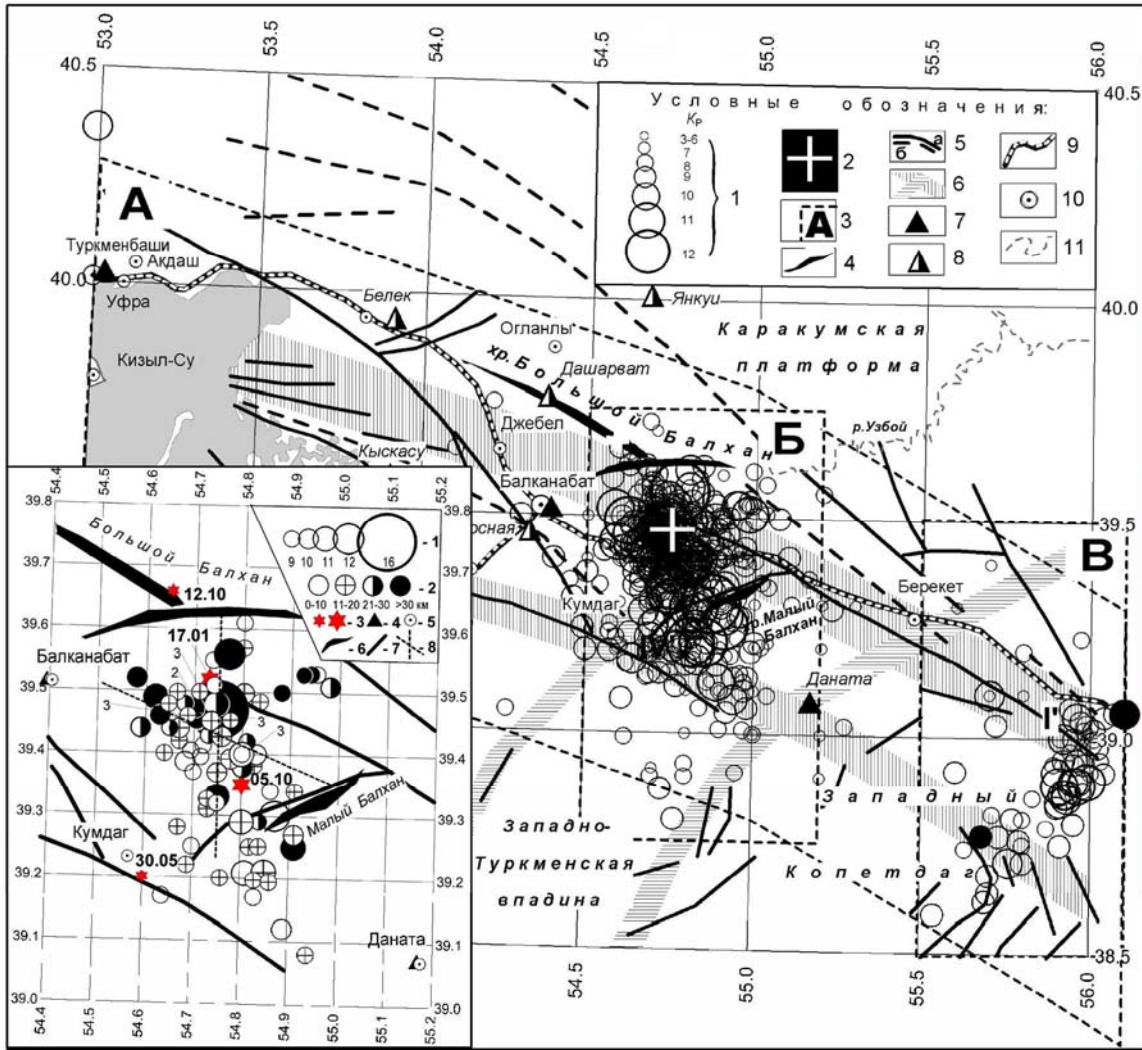


Рис. 8. Афтершоки Балханского землетрясения за период 6–31 декабря 2000 г.

1 – энергетический класс; 2 – эпицентр Балханского землетрясения по данным сети сейсмических станций Туркменистана; 3 – границы зон, для которых строились вертикальные разрезы и пространственно-временные графики; 4 – оси антиклиналей Большого и Малого Балхана; 5 – разрывные нарушения осадочного чехла: по геолого-геофизическим данным (а) и по результатам дешифрования космических снимков (б) [26]; 6 – сейсмогенерирующие зоны, согласно [8, 9]; 7 – стационарная сейсмическая станция; 8 – временная станция «Черепаша»; 9 – железная дорога; 10 – город; 11 – русло р. Узбой.

На врезке: Фор- и афтершоки Балханского землетрясения с  $K_p \geq 9$  (район Б).

1 – энергетический класс; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – форшоки; 4 – сейсмическая станция; 5 – город; 6 – оси антиклиналей; 7 – разрывные нарушения осадочного чехла; 8 – ориентация возможных плоскостей разрыва  $NP1$  и  $NP2$  в очаге основного толчка.

С востока область подготовки Балханского землетрясения замыкает цепочка из трех землетрясений 9–11 классов, произошедших в северо-западных отрогах Копетдагского хребта 3–8 апреля. Два толчка 3 апреля, в  $04^h36^m$  с  $K_p=10.7$  и в  $15^h43^m$  с  $K_p=10.6$ , ощущались с одинаковой интенсивностью и в эпицентре ( $I_0^p=5$  баллов), и в окрестных селениях (в Кулуяр (20 км) и Кульмач (28 км) – 4 балла, в Газанджыке (ныне г. Берекет) и Обой (30 км) – 3–4 балла, в Даната (43 км) – 3 балла). Третий толчок, 8 апреля в  $16^h47^m$ , имел небольшой энергетический класс ( $K_p=9.0$ ), значительную глубину ( $h=35$  км) и не ощущался жителями. Северо-восточная ориентация этой цепочки эпицентров совпадает с ориентацией разрывных нарушений осадочного чехла, выявленных по геолого-геофизическим данным (рис. 7). Для землетрясения 3 апреля в  $04^h36^m$  определен механизм очага [27], согласно которому землетрясение произошло в условиях северо-восточного субгоризонтального растяжения. Плоскость  $NP1$  имеет юго-восточное простирание и субвертикальна; плоскость  $NP2$  – субмеридиональна с близгоризонтальным падением. В подвижках по обеим плоскостям преобладают компоненты сброса.

Таким образом, с начала года и до момента основного толчка 6 декабря большинство сейсмических событий на восточном побережье Каспия группировались в шовной зоне, охватывающей Хазар-Кюрендагский и Копетдаг-Большебалханский глубинные разломы, концентрируясь на трех участках: западном – в районе между Джебелом, Балканабатом и Кыскасу, центральном – в районе Межбалханского коридора, восточном – в Западном Копетдаге, южнее Даната и в западном Копетдаге (рис. 9). Можно предположить, что вся область между западным и восточным участками отвечает за процессы подготовки главного толчка, эпицентр которого локализован на центральном участке.

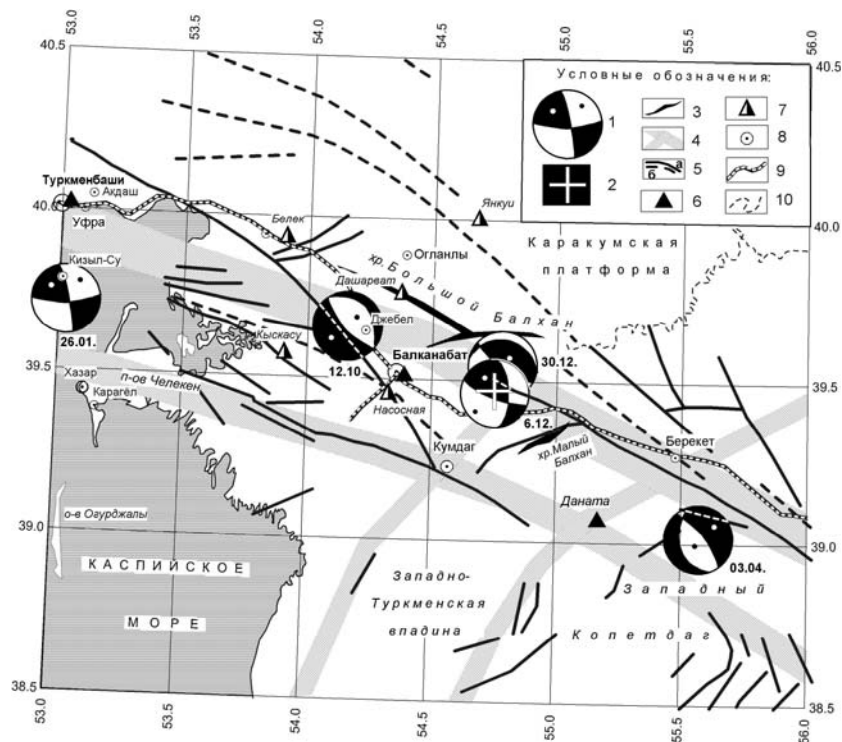


Рис. 9. Механизмы очагов Балханского землетрясения, трех предваряющих землетрясений и афтершока, произошедшего 30 декабря

1 – механизм очага (зачернены области сжатия); 2 – эпицентр Балханского землетрясения по региональным инструментальным данным; 3 – оси антиклиналей; 4 – сейсмогенерирующие зоны; 5 – разломы (а – по геолого-геофизическим данным, б – по космическим снимкам); 6 – стационарная сейсмическая станция «Черепаша»; 7 – временная станция; 8 – города и населенные пункты; 9 – железная дорога; 10 – русло р. Узбой.

**Особенности афтершокового процесса.** Балханское землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков (рис. 8), некоторые из которых были ощутимы. Первый из них, с  $K_p=10.8$ , произошел в  $17^h25^m$ , через 14 минут после основного землетрясения и ощущался с  $I=5$  баллов в Айдин (3 км), 4–5 баллов – в Перевале (15 км), 3–4 балла – в Балла-Ишеме (30 км), 3 балла – в Небитдаге (45 км). Затем, спустя еще 20 минут (в  $17^h45^m$ ), произошел толчок такой же величины ( $K_p=10.8$ ) и воздействия. До конца суток возникло еще три ощутимых афтершока с  $K_p=11-12$ . Наиболее сильный из них произошел в  $18^h12^m$  ( $K_p=12.3$ ;  $I_0^p=6-7$  баллов). Его гипоцентр локализован юго-восточнее главного толчка, в хр. Малый Балхан, и ощущался с  $I=6$  баллов в Айдине и Перевале (15 км), 5 баллов – в Гумдаге (30 км), 3–4 балла – в Небитдаге (55 км). Следующие ощутимые афтершоки возникли в  $18^h48^m$  с  $K_p=11.4$  и в  $19^h00^m$  с  $K_p=11.2$ . Первый из них ощущался в Гумдаге и Куйджыке (20–25 км) с  $I=4-5$  баллов, второй – в Айдине и Перевале (15 км) с  $I=4$  балла, в Гумдаге (30 км) – 3–4 балла. На следующий день, 7 декабря, с интервалом почти два часа (в  $03^h00^m$  и  $04^h51^m$ ), имели место еще два ощутимых афтершока с  $K_p=10.8$  [12]. Также был ощутим афтершок 30 декабря в  $15^h47^m$  с  $K_p=11.9$ , приуроченный к юго-восточным склонам хр. Большой Балхан, севернее эпицентра основного толчка. В Небитдаге (45 км) он ощущался с  $I=3-4$  балла, имея в эпицентре интенсивность  $I_0^p=4$  балла.

Для этого землетрясения определен механизм очага (рис. 9). Обе плоскости разрыва ориентированы субширотно, однако по первой из них, вертикальной, произошел взброс южного крыла, а по второй, субгоризонтальной – надвиг северного крыла. Вторая плоскость хорошо согласуется с типом тектонических движений в данном районе – надвигами или взбросами северного крыла Копетдаг-Большебалханского разлома, на котором сформирована структура Большого Балхана.

Как видно из рис. 8, афтершоковая область вблизи эпицентра основного толчка (участок «Б») ориентирована почти меридионально. Вместе с тем к юго-востоку от главного события (участок «В»), спустя трое суток после него, начала выстраиваться цепочка эпицентров землетрясений с  $K_p=5.6-10.5$ , ориентированная в северо-северо-восточном направлении (рис. 11,в). Чтобы выяснить, являются ли толчки этой группы афтершоками Балханского землетрясения, были построены пространственно-временные распределения эпицентров и вертикальные разрезы гипоцентров, а также поэтапные карты эпицентров (рис. 10, 11 и 12).

На рис. 10, А представлена развертка во времени (по вертикали) и по долготе (в пределах  $\lambda=54.0-56.2$  E) всех событий, зарегистрированных с 6 по 31 декабря в шовной зоне с рис. 8 (участок «А», урезанный по  $\lambda=54.4^\circ$ E), а на двух других участках («Б» и «В») – распределение афтершоков в проекции на широту. Как видно из рис. 10, Б, афтершоки здесь начали происходить сразу же после основного толчка. К концу суток они заполнили область с координатами  $\varphi=39.15-39.55^\circ$ N,  $\lambda=54.6-54.9^\circ$ E (см. также рис. 11,а).

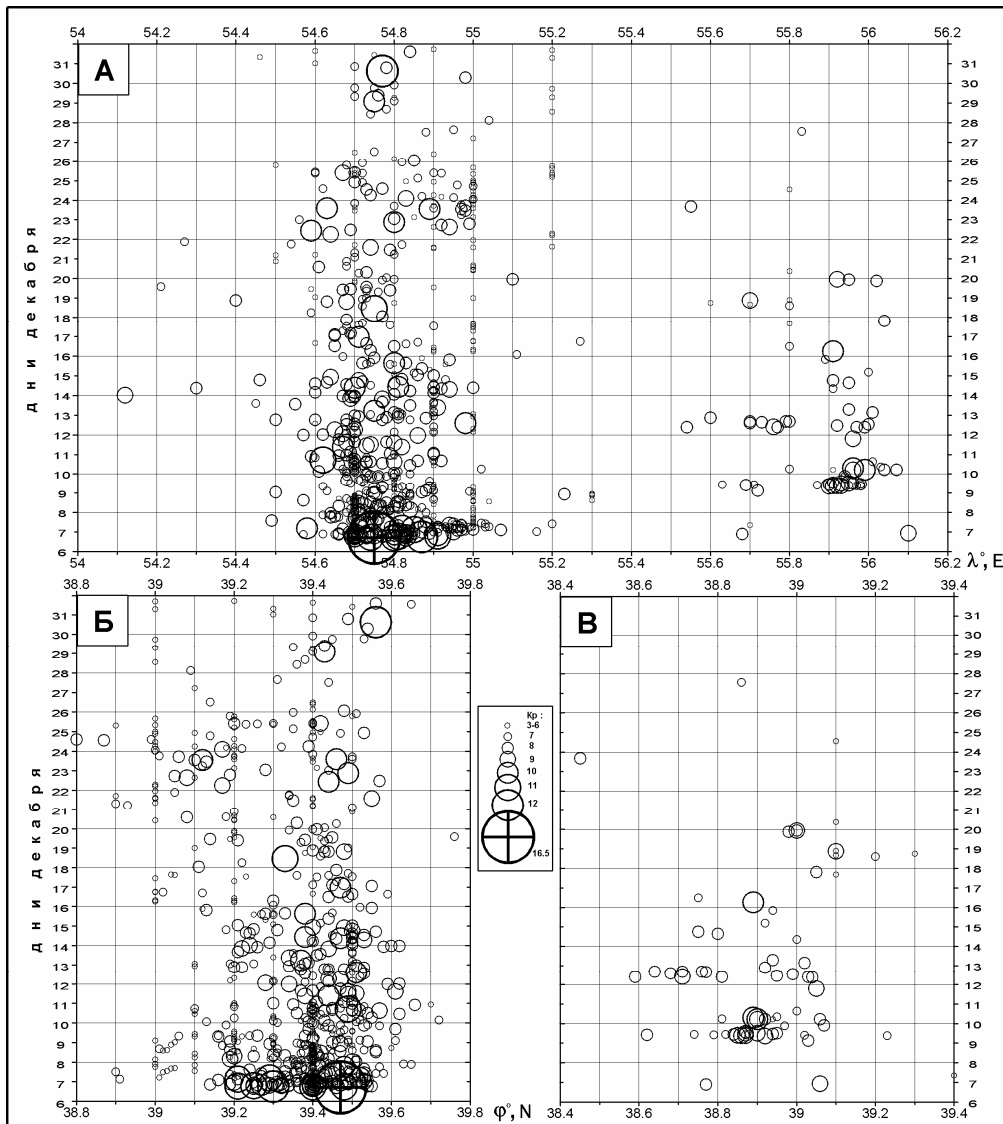


Рис. 10. Развертка во времени (по оси ординат) эпицентров землетрясений разных классов, показанных на рис. 8, по долготе (А) для всех толчков и по широте (Б, В) отдельно для двух групп

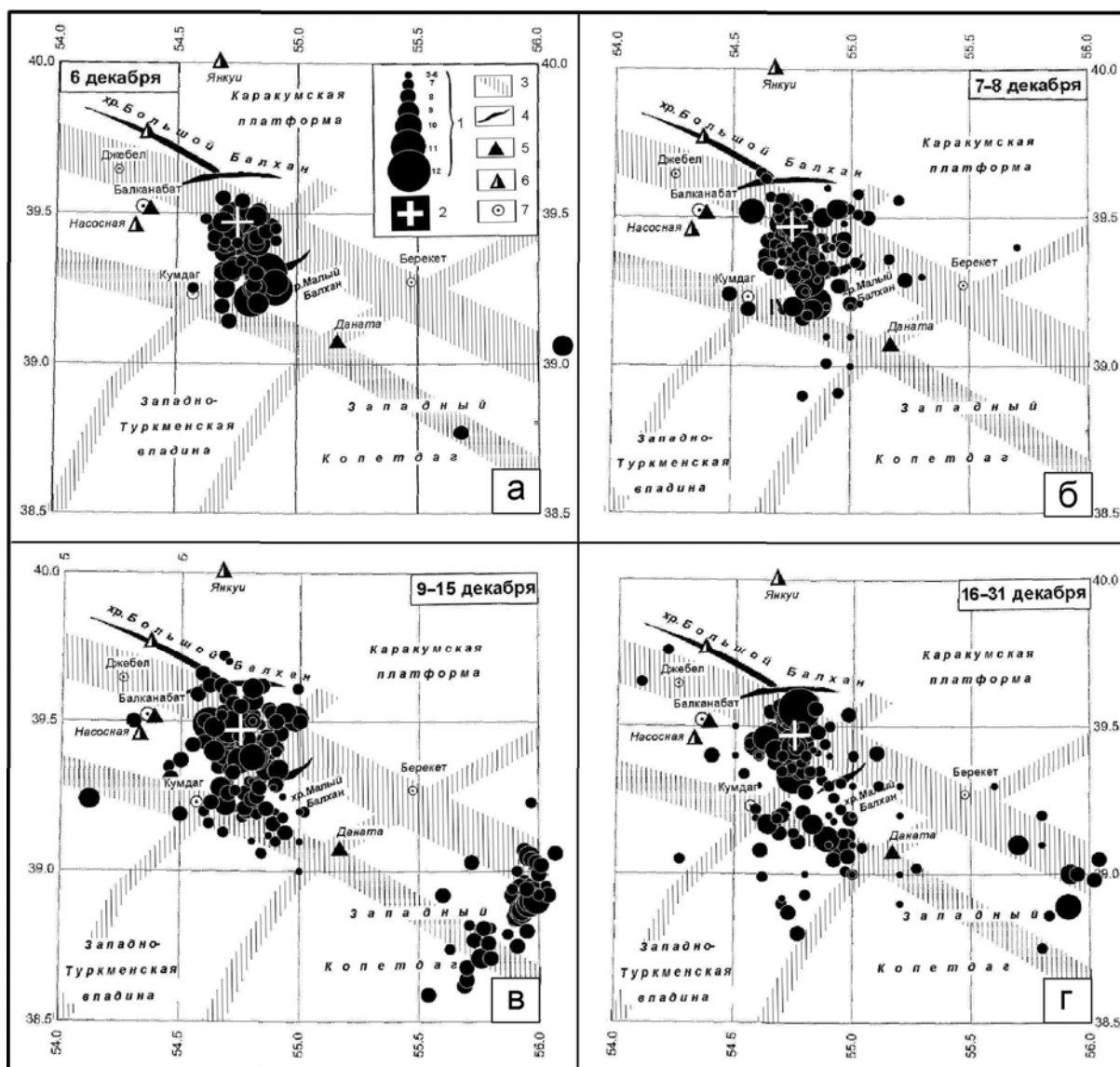


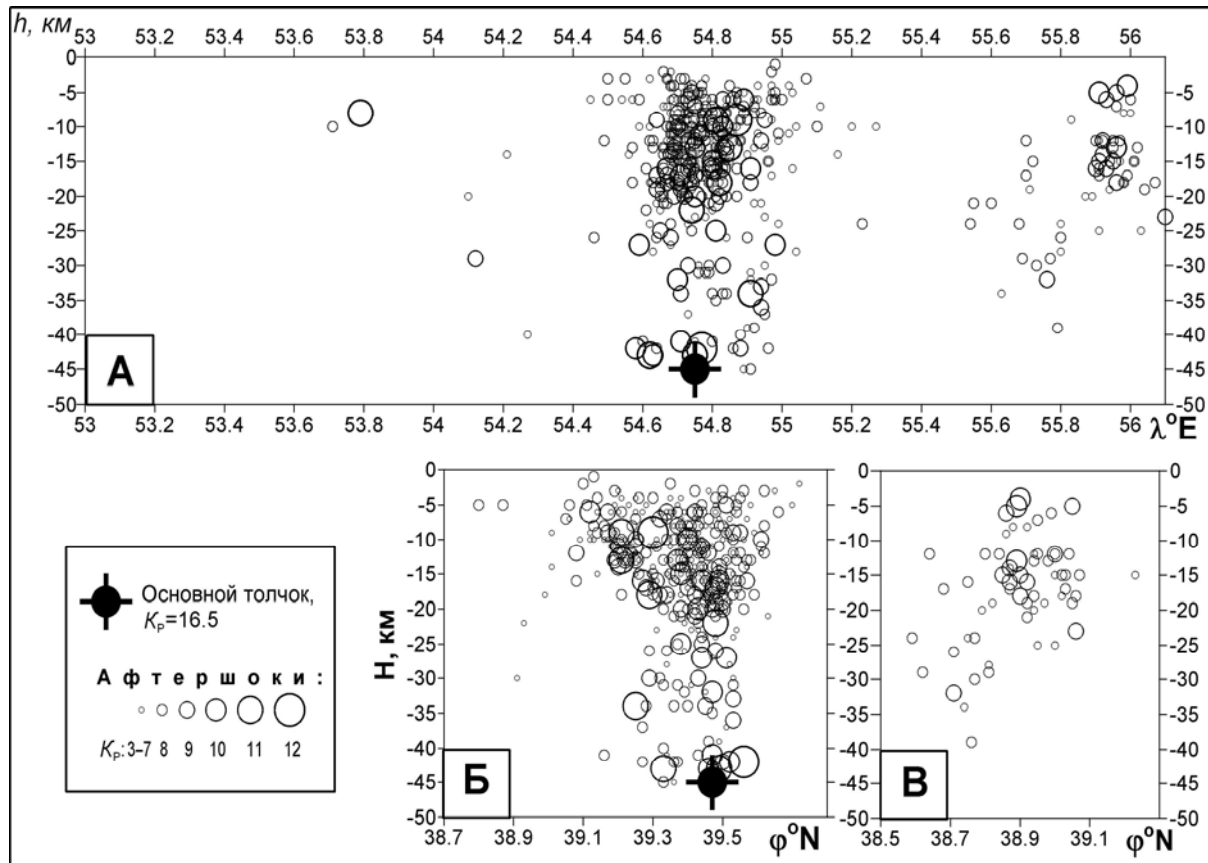
Рис. 11. Карты эпицентров землетрясений очаговой зоны Балханского землетрясения и прилегающих участков за разные интервалы времени: с 6 декабря в 17<sup>h</sup>11<sup>m</sup> по 24<sup>h</sup>00<sup>m</sup> (а); 7–8 декабря (б); 9–15 декабря (в); 16–31 декабря (г).

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – эпицентр основного толчка; 3 – разломные зоны; 4 – оси антиклиналей Большого и Малого Балхана; 5 – стационарная сейсмическая станция; 6 – временная станция «Черепаша»; 7 – город.

Но на участке «В» 6 декабря возникло только два сравнительно слабых толчка (на рис. 8 они показаны залитыми кружками), зарегистрированные 6 декабря в 21<sup>h</sup>53<sup>m</sup> с  $K_p=8.5$  и в 22<sup>h</sup>42<sup>m</sup> с  $K_p=8.9$ , т.е. через 5 и 6 часов после главного события, когда на ближнем к нему участке «Б» уже были зарегистрированы 59 афтершоков с  $K_p=6.3–12.3$ . Примечательно, что эти два зачерненных эпицентра, лежащие на параллельных разломах, как бы определили границы вытянутой в северо-восточном направлении зоны, заполнившейся в дальнейшем эпицентрами землетрясений. Причем заполнение началось только 9 декабря, через два дня после двух первых событий (рис. 10, 11,а–в). Реализация их во времени с 9 по 20 декабря в этой зоне хаотична, без определенной последовательности. Максимальными были толчки, зарегистрированные 10 декабря (в 05<sup>h</sup>23<sup>m</sup> с  $K_p=10.5$  и в 07<sup>h</sup>22<sup>m</sup> с  $K_p=10.1$ ), а также 16 декабря в 06<sup>h</sup>16<sup>m</sup> с  $K_p=10.0$ . К концу декабря толчки на описываемом участке практически прекратились (рис. 10, 11,г).

На рис. 12 показаны вертикальные разрезы поля эпицентров землетрясений, произошедших в период 6–31 декабря по долготу на участке «А» и по широте на участках «Б» и «В», границы которых показаны на рис. 8. При преобладающем числе гипоцентров всех энергетических

классов на глубинах до 20 км, на участке «Б» наиболее сильные землетрясения с  $K_p \geq 10$  равномерно распределены в интервале глубин 5–45 км, тогда как на участке «В» такие землетрясения приурочены к интервалу 5–15 км. Обращает на себя внимание разная ориентация облаков гипоцентров землетрясений: юго-юго-восточная в очаговой зоне Балханского землетрясения (участок «Б») и юго-западная – на участке «В» (рис. 12, А и 12, В). На рис. 12, А четко прослеживается также разделенность в пространстве исследуемых двух серий землетрясений на участках «Б» и «В»: между ними в пределах  $\lambda=55.2-55.5^\circ\text{E}$  лежит асейсмичная область.



**Рис. 12.** Вертикальные разрезы афтершоков Балханского землетрясения только за декабрь 2000 г. на участках «А», «Б» и «В», границы которых показаны на рис. 8, в проекции на вертикальную широтную плоскость (А) и вертикальные меридиональные плоскости (Б, В).

Приведенный выше анализ показывает, что землетрясения, произошедшие на участке «В», не принадлежат собственно очагу Балханского землетрясения, а вызваны перераспределением напряжений в результате этого события, так как:

- удалены от его эпицентра более чем на 100 км, что превышает размеры очага для землетрясения с магнитудой  $M=7.3$  ( $L=84$  км по [28]);
- между последовательностями толчков в районах «Б» и «В» существует асейсмичная область;
- глубины землетрясений в районе «В» меньше, чем в районе «Б», особенно для наиболее сильных толчков;
- серия землетрясений в районе «В» началась, по меньшей мере, через 5 часов после основного толчка и практически завершилась к концу декабря, в то время как в районе «Б» афтершоковая деятельность продолжалась.

Вместе с тем обращает на себя внимание несовпадение меридиональной ориентации облака афтершоков (район «Б») с северо-западной ориентацией разрывных нарушений в районе очага, что не позволяет нам локализовать плоскость разрыва в очаге Балханского землетрясения. Подобное несоответствие отмечалось ранее при анализе процессов в очаге Боджнурдского землетрясения [29].

### Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2000 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 2000–2001.
2. Голинский Г.Л. (отв. сост.), Голинский Г.Л., Кондорская Н.В., Рахимов А.Р., Рустанович Д.Н., Шебалин Н.В. (сост.); при участии Непесова Р.Д., Смирновой В.А. П в. Западная Туркмения [2000 до н.э. – 1974 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.
3. Голинский Г.Л., Аннаорова Т.А., Рахимов А.Р. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1983 г. – М.: Наука, 1986. – С. 38–45.
4. 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.
5. Аннаорова Т.А., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Смирнова Н.П. Землетрясения Копетдага // Землетрясения в СССР в 1987 г. – М.: Наука, 1990. – С. 35–46.
6. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
7. ИТАР-ТАСС. Москва. Сообщения. Декабрь 2000 г.
8. Гаипов Б.Н., Воронцова Э.С., Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Петрова Н.В., Рахимов А.Р., Абасеев С.С. Национальная карта сейсмического районирования Туркменистана // Материалы Международной конференции «Урбанизация и землетрясения». – Ашхабад: ИС при КМТ, 1999. – С. 43–65.
9. Мурадов Ч.М. Сейсмогенерирующие зоны Туркменистана // Материалы Международной конференции «Урбанизация и землетрясения». – Ашхабад: ИС при КМТ, 1999. – С. 103–106.
10. Полетаев А.И. Сейсмоструктура зоны Главного Копетдагского разлома. – М.: Наука, 1986. – 134 с.
11. Ишутин В.В., Лыков В.И., Одеков О.А. Геотектонические особенности глубинной структуры Туркменистана // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХиГН. – 1970. – № 2. – С. 106–113.
12. Сарыева Г.Ч., Рахимов А.Р., Голинский Г.Л. (отв. сост.), Тачов Б., Мамедязова М.Т., Халлаева А.Т., Коржукова Т.А., Таджиева Ш.К., Дурасова И.А., Клычева Э.Р., Эсенова А., Петрова Н.В. Копетдаг. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
13. Bulletin of the International Seismological Centre for 2000. – Berkshire: ISC, 2002.
14. Информационное сообщение о землетрясении в Западном Туркменистане 6 декабря 2000 г. <http://www.ceme.gsras.ru/>.
15. Гоби-Алтайское землетрясение / Отв. ред. В.П. Солоненко. – М.: АН СССР, 1963. – 391 с.
16. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
17. Голинский Г.Л., Кондорская Н.В., Захарова А.И., Вандышева Н.В., Агаларова Э.Б., Агамирзов С.Р., Брук М.Г., Гарагозов Д., Кулиев Ф.Т., Лагова Н.А., Мурадов Ч.М., Раутиан Т.Г., Панахи Б.М., Рахимов А.Р., Рогожин Е.А., Шафадияев Р.Н., Чепкунас Л.С. Каспийское землетрясение 6 марта 1986 г. // Землетрясения в СССР. – М.: Наука, 1989. – С. 58–77.
18. Голинский Г.Л., Мурадов Ч.М., Петрова Н.В., Сантурян В.А., Зозуля А.Б., Курмаев Н.А., Медведев А.А., Шафадияев Р.Н., Хромецкая Е.А., Гасанов А.Г. Каспийское землетрясение 16 сентября 1989 г. // Землетрясения в СССР. – М.: Наука, 1993. – С. 448–61.
19. Ризниченко Ю.В. Изучение хода сейсмического режима во времени // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 232–246.
20. Михайлова Р.С. Увеличение во времени области подготовки сильных землетрясений // Изв. АН ТаджССР. Сер. физ.-мат. и геол.-хим. наук – 1979. – Деп. ВИНТИ – № 4108–79. – 17 с.
21. Михайлова Р.С. Динамика развития областей сейсмических затиший и прогноз сильных землетрясений. – Физика Земли. – 1980. – № 10. – С. 12–22.
22. Мирзоев К.М., Баринаева А.Я., Голубятников В.Л., Шакиржанова Г.Н., Михайлова Р.С., Джанузакоев Р.С., Садыков Ф.С., Михайлова Н.Н. Сейсмическая обстановка в Средней Азии и Казахстане в 1979 г. // Землетрясения Средней Азии и Казахстана, 1979. – Душанбе: Дониш, 1981. – С. 7–37.

- 
23. Маламуд А.С., Михайлова Р.С. Карта прогнозируемых мест возникновения сильных землетрясений в Таджикистане. – ДАН ТаджССР. – 23. – № 11. – С. 643–647.
  24. Негматуллаев С.Х., Маламуд А.С., Михайлова Р.С., Саломов Н.Г., Старков В.И., Сквородкин Ю.П. Исфара-Баткенское землетрясение и возможности оперативного прогноза // Прогноз землетрясений. – Душанбе: Дониш, 1982. – № 1. – С. 300–310.
  25. Гаипов Б.Н., Петрова Н.В., Голинский Г.Л., Рахимов А.Р., Сарыева Г.Ч. Копетдаг // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 87–102.
  26. Геологическая карта Туркменской ССР. Тектоническая схема (врезка, масштаб 1:2 000 000). Гл. ред. М.К. Мирзаханов, 1989.
  27. Аннаорова Т.А., Безменова Л.В. (отв. сост.). Копетдаг. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
  28. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1981. – 408 с.
  29. 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  $M_S=6.6$ ,  $I_0=8$  (Копетдаг) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 199–210.