

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 25 марта с $M_w=6.1$, 27 марта с $M_w=5.6$, 12 апреля 2002 г.
с $M_w=5.9$ (южнее Таджикистана)**

Р.С. Михайлова¹, Т.Р. Улубиева², Л.С. Чепкунас¹

¹Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, raisa@gstras.ru

²Институт сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан,
г. Душанбе, anton_ulubiev@mail.ru

За короткий интервал времени с 25 марта по 12 апреля в Гиндукушской зоне коровых землетрясений Таджикистана произошли три сильных землетрясения на небольшом (10–80 км) удалении их эпицентров. Их параметры по данным сети сейсмических станций Таджикистана [1] и других сейсмологических служб приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 25 марта в 14^h56^m с $K_p=14.3$, 27 марта в 08^h52^m с $K_p=13.7$, 12 апреля в 04^h00^m с $K_p=14.0$ по данным Таджикистана в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
25 марта в 14 ^h 56 ^m										
Таджикистан	14 56 25		35.8		69.0		10		$K_p=14.3$	[2]
MOS	14 56 35.8		36.11		69.25		17		$MS=6.1/54$, $MPSP=6.2/57$	[3]
ISC	14 56 37.7	0.09	36.01	0.018	69.27	0.015	33f 28*	– 1.8*	$Ms=6.2/61$, $m_b=5.8/151$, h^* по pP - P	[4]
NEIC	14 56 33.8		36.06		69.32		8		$Ms=6.2/70$, $m_b=5.9/141$, $M_w=6.0$ $M_0=1.2 \cdot 10^{18}$ $H \cdot m$	[4]
HRVD	14 56 41.2		36.28	0.01	69.06	0.025	15f		$M_w=6.1/50$, $M_0=1.6 \cdot 10^{18}$ $H \cdot m$	[4]
IDC	14 56 32.8		35.85		69.20		0f		$Ms=6.1$, $ML=5.4/2$, $m_b=5.8/21$	[4]
ВJI	14 56 35.9		36.26		69.38		8		$Ms=6.3$, $m_b=5.8$, $ML=6.6$	[4]
27 марта в 08 ^h 52 ^m										
Таджикистан	08 52 48		35.8	0.20	69.1	0.20	10		$K_p=13.7$	[2]
MOS	08 52 53.9		36.06		69.29		18		$MS=5.3/40$, $MPSP=6.1/55$	[3]
ISC	08 52 52.7	0.09	36.03	0.019	69.30	0.016	10f 10*	– 0.5*	$Ms=5.4/79$, $m_b=5.9/151$, h^* по pP - P	[4]
NEIC	08 52 52.3		36.02		69.34		10f		$Ms=5.4/61$, $m_b=5.9/136$, $M_w=5.6$, $M_0=2.5 \cdot 10^{17}$ $H \cdot m$	[4]
HRVD	08 52 58		36.12		68.75		15f		$M_w=5.6/47$, $M_0=2.8 \cdot 10^{17}$ $H \cdot m$	[4]
IDC	08 52 53.6		35.93		69.22		10	2.5	$ML=5.0/2$, $m_b=5.7/27$	[4]
ВJI	08 52 53.1		36.27		69.37		5		$Ms=5.4$, $m_b=5.8$	[4]
12 апреля в 04 ^h 00 ^m										
Таджикистан	04 00 30		36.4	0.20	69.5	0.20	10		$K_p=14.0$	[2]
MOS	04 00 28.8		36.13		69.33		37		$MS=5.9/30$, $MPSP=6.2/43$	[3]
ISC	04 00 28.0	0.10	35.99	0.019	69.35	0.017	37 38*	– 3.1*	$Ms=5.9/99$, $m_b=5.7/179$, h^* по pP - P	[4]
NEIC	04 00 23.7		35.96		69.42		10f		$Ms=5.9/67$, $m_b=5.8/130$	[4]
HRVD	04 00 30.6		36.15	0.02	69.12	0.12	15f		$M_w=5.9/51$, $M_0=7.2 \cdot 10^{17}$ $H \cdot m$	[4]
IDC	04 00 25.7		35.99		69.23		16	16.7	$ML=4.6/1$, $m_b=5.4/25$	[4]
ВJI	04 00 26.1		36.21		69.46		10f		$Ms=5.9$, $m_b=5.5$	[4]

Примечание. f – фиксированная глубина.

Как видим, первое из них – самое сильное. По данным агентства NEIC [4], после него в провинции Афганистана Баглан погибли, по меньшей, мере около 1000 жителей, несколько сотен ранено и несколько тысяч людей остались без крова. Многие дороги в эпицентральной области были блокированы оползнями. Интенсивные сотрясения имели место во всем северном Афганистане. Также его ощущали в Пакистане на территории Исламабад-Пешавар [4]. На территории Таджикистана макросейсмический эффект проявился с интенсивностью $I=3-4$ балла в Душанбе (300 км), 3 балла – в Нуреке (305 км) [2]. Второе землетрясение вызвало в Афганистане новые потери, дополнительные оползни и разрушения. Оно ощущалось в Пакистане [4] и Таджикистане (Душанбе (305 км) – 2 балла [2]). После третьего, произошедшего северо-восточнее двух первых, в провинции Аби-Нарин Афганистана, погибли около 50 человек, ранены – 150, 160 домов разрушено и 250 повреждено. Ощущалось на территории Пакистана в Исламабаде, Лахоре и Пешаваре [4], Таджикистане (Душанбе (245 км) – 2–3 балла [2]), Узбекистане и Казахстане (в Ташкенте (580 км), Сурхан-Дарье (600 км), Джамбуле (670 км) – 2 балла [5]). Оба землетрясения, произошедшие в марте, сосредоточены в сейсмической зоне сближения Банди-Туркестанского поднятия и западных отрогов Гиндукуша, в 160 км, к югу от г. Пяндж, а эпицентр третьего землетрясения располагался примерно в 80 км к северо-востоку от мартовских очагов.

Для всех трех толчков с $K_p \geq 14$ и одного афтершока имеются решения механизма очагов [6], представленные в табл. 2.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов основных толчков 25 марта, 27 марта, 12 апреля в 04^h00^m и 16^h26^m 2002 г. (метод ТМЦ по HRVD из [4])

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды			K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агент- ство
				M_w	M_S	M_{PSP}		T		N		P		$NP1$			$NP2$			
								PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
1	25.03	14 56 33.8	8	6.1	6.2	6.2	14.3	79	43	9	184	7	275	16	39	104	177	53	79	HRVD
2	27.03	08 52 58	15	5.6	5.3	5.8	13.7	69	312	13	186	16	92	164	31	65	13	62	104	HRVD
3	12.04	04 00 30.6	15	5.9	5.9	5.9	14.0	77	192	13	12	0	102	204	46	108	359	46	72	HRVD
4	12.04	16 26 04.6	15	5.1	4.5	4.7	12.1	47	4	41	204	10	105	157	50	30	46	67	136	HRVD

Согласно табл. 2, в их очагах существенно преобладали напряжения сжатия (рис. 1), поскольку они близгоризонтальны ($PL_p=7, 16$ и 0), тогда как оси растяжения близвертикальны ($PL_T=79, 69$, и 77°). Нодальная плоскость $NP2$ имеет меридиональное простирание для 1-го и 3-го толчков ($STK=177$ и 359°) и близмеридиональное – для 2-го ($STK=13^\circ$). Для плоскостей $NP1$ различие в простирании несколько больше, но все же невелико, тем более что остается большее подобие между ее положением для 1-го и 3-го толчков на северо–северо-восток ($STK=16$ и 204°), а для 2-го – на юго–юго-восток ($STK=164^\circ$). Тип подвижки во всех трех очагах одинаков – взброс с компонентами сдвига. Отличие лишь в сдвиговых компонентах: для землетрясений 25 марта и 12 апреля – взброс с компонентами правостороннего сдвига по $NP1$ и левостороннего – по $NP2$; для землетрясения 27 марта – взброс с компонентами левостороннего сдвига по $NP1$ и правостороннего – по $NP2$. Однако в очаге сильного афтершока, ближайшего по времени к событию 12 апреля, тип подвижки несколько иной – сдвиг с компонентами взброса (левосторонний сдвиг по плоскости $NP1$ юго-восточного простирания и правосторонний – по $NP2$ северо-восточного простирания).

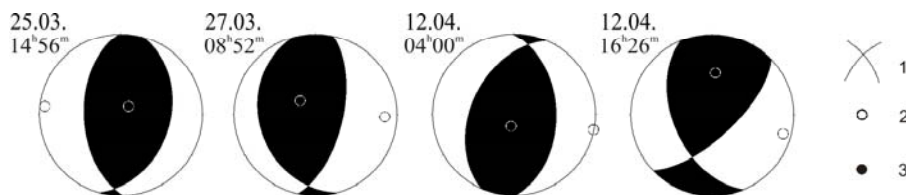


Рис. 1. Стереодиаграммы механизмов очагов землетрясений 25 марта, 27 марта и 12 апреля в 04^h00^m и в 16^h26^m за 2002 г.

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

Анализ предваряющей сейсмичности с 1 января по 25 марта выявил лишь четыре толчка с $K_p=9.0-11.5$ (рис. 2).

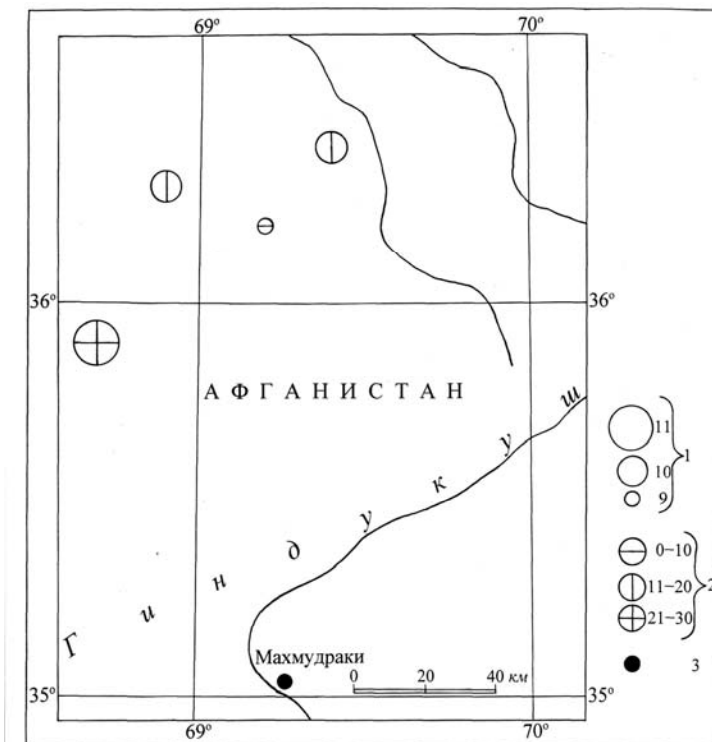


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений за период с 1 января по 25 марта 2002 г

1 – энергетический класс; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – населенный пункт.

Но афтершоки сопровождали все три толчка: 25 марта, 27 марта и 12 апреля. Их ход во времени представлен на рис. 3, а списки – в разделе VIII, «Дополнительные данные», к наст. сб. [7]. Из рис. 3 следует, что весь процесс активизации в трех очаговых зонах завершился фактически 30 апреля, т.е. его общая длительность составила лишь 37 дней. Были еще шесть афтершоков, но они крайне растянуты во времени – 24 мая в 17^h46^m с $K_p=10.6$, 4 июня в 09^h33^m и 19^h51^m с $K_p=10.9$ и 10.0 соответственно, 28 июня в 23^h27^m с $K_p=10.4$, 13 августа в 16^h22^m с $K_p=11.3$ и последний – 14 сентября в 03^h05^m с $K_p=10.1$ [7].

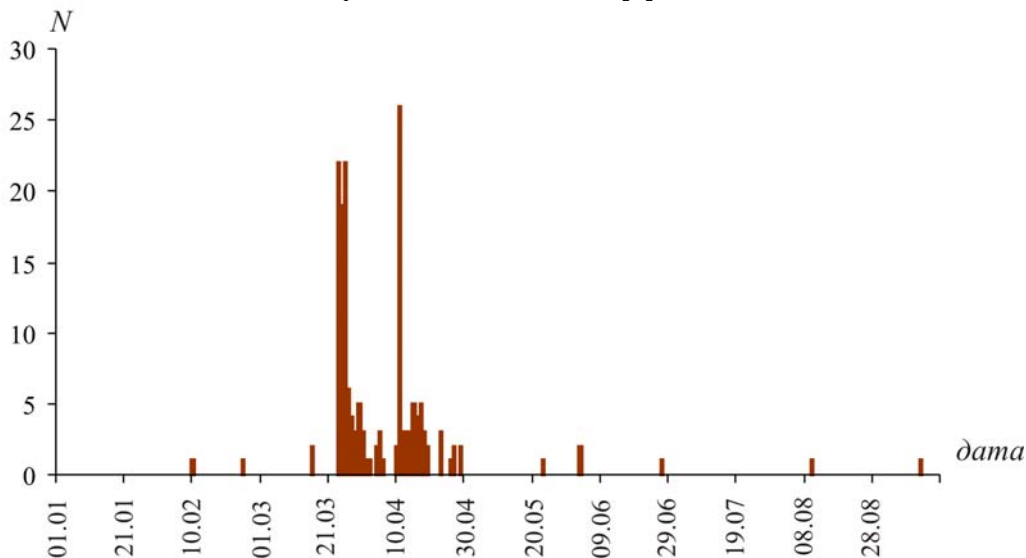


Рис. 3. Распределение во времени числа форшоков и афтершоков землетрясений 25 марта в 14^h56^m с $M_w=6.1$, 27 марта в 08^h52^m с $M_w=5.6$ и 12 апреля в 04^h00^m с $M_w=5.9$

Анализ развития афтершокового процесса во времени и в пространстве достаточно сложный, поскольку эти сильные землетрясения взаимосвязаны между собой. Площадь для исследования афтершоков была выбрана размером 1 кв. градус, в пределах координат 35.6–36.6°N и 68.7–69.7°E.

Первая серия афтершоков – самая короткая, менее двух суток – с 25 марта 15^h00^m до 27 марта в 08^h50^m.

Эпицентр основного толчка 25 марта расположен на юго-западе его афтершоковой зоны (рис. 4а). Общее число афтершоков первой серии составило $N_{1\text{афт}}=48$, они занимают площадь $S=1700 \text{ км}^2$, длины продольной и поперечной осей области афтершоков, соответственно, равны $\lambda=71 \text{ км}$, $b=35 \text{ км}$. Расхождение процесса афтершоков происходило в направлении на северо-восток. В этой серии сосредоточены наиболее сильные афтершоки с $K_p=12$, произошедшие 25 марта в 15^h10^m, 15^h20^m, 15^h46^m, 17^h49^m, 21^h45^m, и 26 марта в 00^h55^m и в 16^h54^m [2]. Прямая, соединяющая узлы с максимальными числами толчков, имеет азимут $AZM=17^\circ$, что практически совпадает с простиранием пологой нодальной плоскости $NP1$ ($AZM=16^\circ$). Это позволяет, по-видимому, принять ее за действующую плоскость разрыва в очаге.

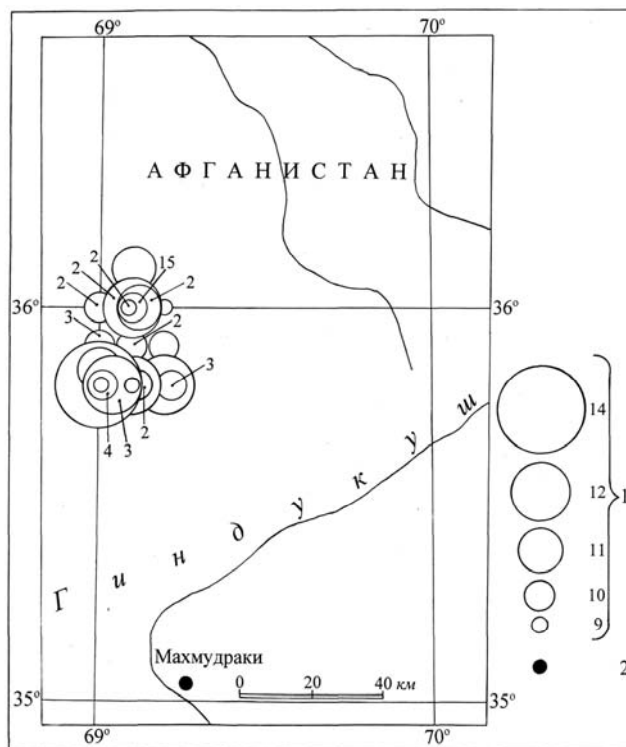


Рис. 4а. Карта эпицентров афтершоков землетрясения 25 марта в 14^h56^m с $M_w=6.1$

1 – энергетический класс K_p ; 2 – населенный пункт; цифры указывают число совпадающих эпицентров.

Вторая серия афтершоков землетрясения 27 марта более длительная – около 16 суток, хотя объем ее тот же: $N_{2\text{афт}}=48$ [7]. Однако в ней отсутствуют афтершоки с $K_p \geq 12$. Карта эпицентров афтершоков, изображенная на рис. 4 б, свидетельствует о дальнейшем расхождении сейсмического процесса, причем той же направленности, на северо-восток. Размеры площади афтершоков землетрясения 27 марта равны $S=1385 \text{ км}^2$, с длиной продольной оси $\lambda=64 \text{ км}$, поперечной – $b=35 \text{ км}$. Азимут продольной оси области афтершоков составил $AZM=13^\circ$, что удивительно согласуется с азимутом простирания второй нодальной плоскости $NP2$ ($AZM=13^\circ$ в табл. 2). Весьма интересен из всей второй серии один афтершок, самый удаленный на северо-восток, поскольку он произошел 28 марта в 00^h20^m, т.е. через 13^h после второго главного толчка, но расположен очень близко к будущему главному толчку 12 апреля. Тем самым произошел как бы «прострел» всей очаговой зоны трех толчков 14-го класса, обозначивший ее крайнюю точку на северо-востоке. Этот факт свидетельствует о тесной взаимосвязи сейсмического процесса в исследуемых очаговых зонах.

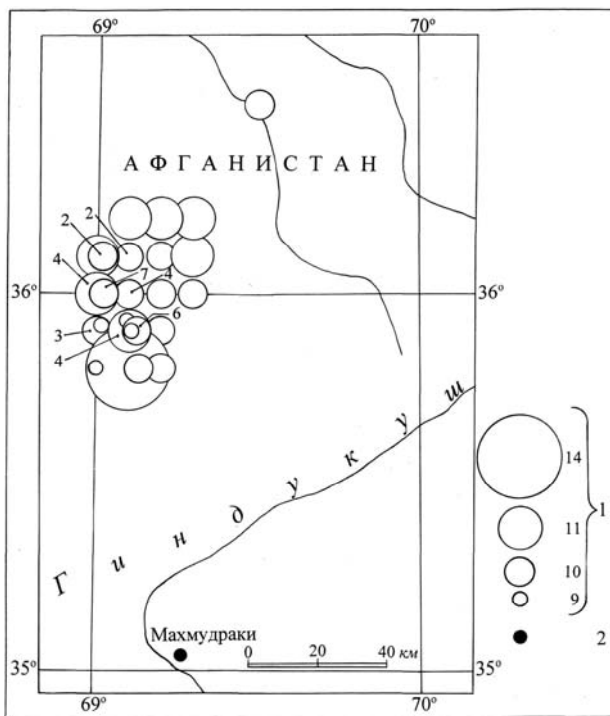


Рис. 4б. Карта эпицентров афтершоков землетрясения 27 марта в 08^h50^m с $M_w=5.6$

1 – энергетический класс K_p ; 2 – населенный пункт; цифры указывают число совпадающих эпицентров.

Развитие третьей серии афтершоков пошло «вспять» – от главного толчка 12 апреля к юго-западу, т.е. к очагам землетрясений 25 и 27 марта, с заполнением всего пространства между тремя главными толчками. Зона афтершоков землетрясения 12 апреля, представленная на рис. 4в, имеет форму правильного эллипса с осями $\lambda=109$ км и $b=46$ км. Объем третьей серии афтершоков и занимаемая ими площадь – наибольшие ($N_{\text{афт}}=66$, $S=3220$ км²).

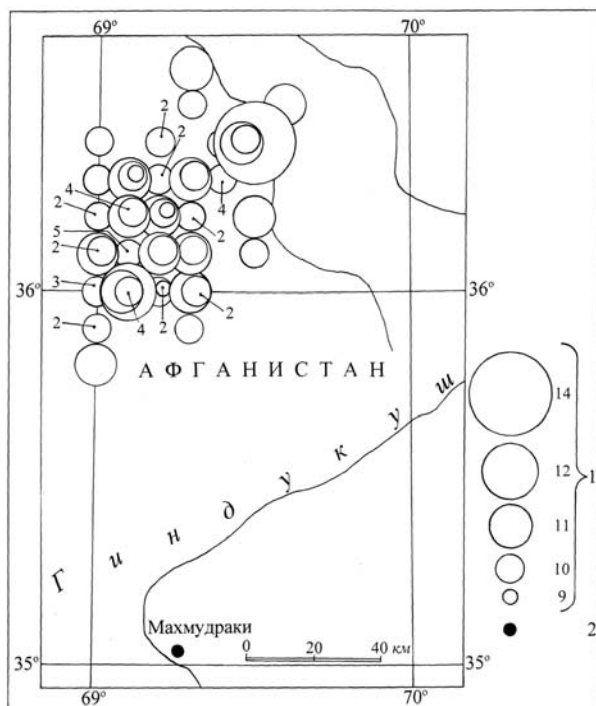


Рис. 4в. Карта эпицентров афтершоков землетрясения 12 апреля в 04^h00^m с $M_w=5.9$

1 – энергетический класс K_p ; 2 – населенный пункт; цифры указывают число совпадающих эпицентров.

Основной очаг землетрясения 12 апреля с $M_w=5.9$ расположился на северо-востоке области его афтершоков, где их плотность минимальна. Участок повышенной плотности афтершоков сформировался к юго-западу от главного толчка. Азимут осевой линии области афтершоков этой серии составил $AZM=38^\circ$, и это опять весьма близко к простираению нодальной плоскости $NP1$ в очаге основного землетрясения, азимут которой равен $AZM=204^\circ$, т.е. с выходом в третьем квадранте, что равносильно углу $204^\circ-180^\circ=34^\circ$ при продлении простираения в первый квадрант. Поэтому предположительно и в этом случае можно выбрать плоскость $NP1$ в качестве истинной плоскости подвижки в очаге. Таким образом, если исходить из ориентации областей афтершоков всех трех толчков 14-го класса, можно везде выбрать именно нодальную плоскость $NP1$, по которым произошли подвижки в их очагах.

В заключение отметим, что описываемая активизация сейсмичности в верхних слоях земной коры Гиндукушской зоны вызвана, несомненно, очень сильным глубоким Гиндукушским землетрясением 3 марта 2002 г. [2, 8, 9] с $M_w=7.3$ [4]. Как отмечено в [10], после сильных Гиндукушских землетрясений возрастает коровая сейсмичность в Средней Азии.

Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Таджикистан. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.)
2. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Давлятова Р., Хусейнова Г.А., Михайлова Р.С., Улубиев А.Н., Максименко Т.И. Таджикистан. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
3. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2002 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2002–2003.
4. *Bulletin of the International Seismological Centre for 2002.* – Berkshire: ISC, 2003–2004.
5. Закиров М.С. (отв. сост.). Список ощутимых землетрясений на территории Республики Узбекистан. Обнинск: Фонды ГС РАН, 28.08.2007. – 2 с.
6. Михайлова Р.С., Чепкунас Л.С. (сост.). Таджикистан. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
7. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С. Афтершоки землетрясений 25, 27 марта и 12 апреля 2002 г. южнее Таджикистана с $M_w=6.1$, 5.6 и 5.9 (См. раздел VIII (Дополнительные данные) в наст. сб. на CD).
8. Михайлова Р.С., Улубиева Т.Р., Чепкунас Л.С. Гиндукушское землетрясение 3 марта 2002 года с $M_w=7.3$, $I_0=8$ (южнее Таджикистана) (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
9. Starovoi O., Yunga S., Gabsatarova I., Chepkunas L. Destructive earthquake in Afghanistan (Hindu Kush) on March 25, p. 5. 2002 // *Observatories and Research Facilities for European Seismology, Orfeus Newsletter.* – 2002. – 4. – № 1. – P. 5.
10. Астафьева Е.Г., Горбунова И.В. и др. Землетрясения Средней Азии // *Землетрясения в СССР в 1965 году.* – М.: Наука, 1967. – С. 44–70.