

ТАДЖИКИСТАН

Т.Р. Улубиева¹, Р.С. Михайлова², Л.И. Рислинг¹¹Геофизическая служба АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, tanya_55_08@mail.ru²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, raisa@gstras.ru

Система наблюдений. В 2009 г. непрерывные сейсмологические наблюдения, как и в 2008 г. [1], проводились Геофизической службой Академии наук Республики Таджикистан (ГС АН РТ). Регистрация землетрясений Таджикистана и сопредельных государств осуществлялась одной аналоговой станцией «Душанбе» и семью цифровыми широкополосными сейсмическими станциями Trident +Trillium40: «Чуянгарон», «Гарм», «Гезан», «Игрон», «Шаартуз», «Манем» и «Чорух-Дайрон». Сеть из цифровых станций в Таджикистане начала создаваться в 2005 г. под руководством академика С.Х. Негматуллаева [2]. Работа выполнена НПО «RMP International» при поддержке Швейцарского агентства по развитию и сотрудничеству (ШАРС) и при содействии фирмы «Нанометрикс» Канады в рамках проекта по возрождению сети сейсмических наблюдений в Таджикистане.

В 2005 г. были открыты цифровые станции «Гарм» (05.10.2005 г.), «Шаартуз» (22.10.2005 г.) и «Душанбе» (24.10.2005 г.); в 2006 г. – «Гезан» (02.11.2006 г.) и «Игрон» (18.11.2006 г.). В 2007 г. цифровой комплект на станции «Душанбе» 16.08.2007 г. был снят и переустановлен с 05.11.2007 г. на станцию «Чуян-Гарон». В 2008 г. эта сеть пополнилась с 22 июля на юге станцией «Манем» вблизи г. Хорог, с 18 октября на севере – станцией «Чорух-Дайрон» вблизи г. Худжанд (Ленинабад) и на этом завершилось формирование сети цифровых станций. Карта расположения сейсмических станций дана на рис. 1.



Рис. 1. Сеть цифровых широкополосных сейсмических станций на территории Таджикистана в 2009 г.

Координаты и параметры станций даны в Приложении к наст. сб. [3], геологическая привязка представлена там же, в [4].

Методика наблюдений. В целом границы исследуемой территории (в пределах координат 36–40°N, 67–75°E и 40–41°N, 69–71°E) и схема сейсмоактивных зон Таджикистана (рис. 2) не изменились, по сравнению с установленными в 1995 г. [5], хотя обработка землетрясений частично проводилась и вне указанных границ.

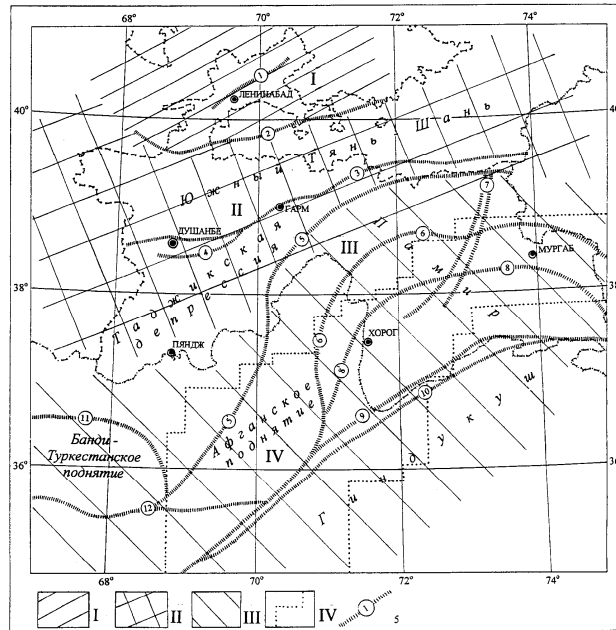


Рис. 2. Сейсмоактивные зоны Таджикистана и глубинные разломы

I–IV – сейсмоактивные зоны: Юго-Западный Тянь-Шань, Южный Тянь-Шань, Памиро-Гиндукуш (коровые), Памиро-Гиндукуш (глубокие) соответственно; 5 – глубинный разлом и его номер.

Главнейшие глубинные разломы территории Таджикистана и Северного Афганистана по [6]: 1 – Северо-Ферганский; 2 – Заамин-Хайдараканский; 3 – Южно-Гиссарский; 4 – Илякско-Вахшский; 5 – Дарваз-Заалайский; 6 – Афгано-Северо-Памирский; 7 – Ванч-Акбайтальский; 8 – Каракульско-Сарезский; 9 – Бартанг-Пшартский; 10 – Рушано-Северо-Пшартский; 11 – Афгано-Южно-Памирские; 12 – Альбурз-Мормульский; 13 – Андараб-Мирзавалангский.

Методика обработки цифровых записей землетрясений осталась прежней [7]. Вся цифровая сейсмическая система работает в режиме TDMA – множественный доступ с временным разделением, т.е. каждая станция вещает в строго определенный промежуток времени. Связь удаленных станций с центральной станцией в г. Душанбе происходит с помощью космического спутника «Intelsat». Передача информации происходит непрерывно в масштабе реального времени. Для обработки и анализа сейсмических данных используются следующее программное обеспечение: CoreEarthworm – программу для автоматической обработки землетрясений, включающей в себя программу Hypoinverse, где собраны годографы и геологические характеристики региона, и Ocasle – базу данных для хранения сейсмической информации и программу для обработки сейсмической информации вручную [8].

В результате сводной обработки составлен каталог землетрясений Таджикистана и прилегающих к нему районов Узбекистана, Кыргызстана, Афганистана, Индии и Китая за 2009 г. [9]. Как и ранее [10], в *ред.* в него добавлены значения разных магнитуд по поверхностным (M_S , M_s), объемным (M_{PSP} , m_b) волнам и моментная (M_w) магнитуда вместе с сейсмическим моментом M_0 из бюллетеня ISC [11]. Кроме того, в каталог добавлено значительное число макросейсмических данных из трех источников – каталога землетрясений Центральной Азии [12], сейсмологического бюллетеня ГС РАН [13] и NEIC [14]. В итоге сведения об осязательности были собраны в *ред.* для 40 землетрясений. Все макросейсмические данные расписаны по конкретным населенным пунктам в специальном приложении [15]. Общее число сотрясенных населенных пунктов в 2009 г. составило 94 [16]. В каталоге механизмов очагов 74 землетрясений Таджикистана [17] региональных решений нет, все они заимствованы из других источников [14, 18, 19].

Итоговый каталог [9] Таджикистана содержит 4260 землетрясений в диапазоне $K_p=8.6–15.0$, из них – 3329 глубокофокусные Памиро-Гиндукушские землетрясения с $h \geq 70$ км и 931 – мелкофокусные толчки с $h < 70$ км, разбросанные на всей территории. Минимальная глубина гипоцентра $h=2$ км присвоена землетрясению 10 апреля в $11^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $K_p=9.3$ в Душанбино-Гармском районе, а максимальная – $h=300$ км – землетрясению 17 мая в $00^{\text{h}}14^{\text{m}}$ также с $K_p=9.3$, локализованному в мантии, в пределах Хорогской подзоны глубоких очагов. Суммарная энер-

гия всех землетрясений, выделившаяся в их очагах, равна $\Sigma E=1.93 \cdot 10^{15}$ Дж. По сравнению с каталогом землетрясений в 2008 г. [10], число коровых землетрясений уменьшилось на 796 событий, число глубоких – на 699. При этом суммарная энергия всех землетрясений тоже уменьшилась, но незначительно ($\Sigma E=1.93 \cdot 10^{15}$ Дж вместо $\Sigma E=2.24 \cdot 10^{15}$ Дж).

Наиболее сильные ($K_p \geq 12.6$) события за 2009 г. представлены в табл. 1, суммарное число которых составило $N_{\Sigma}=10$, хотя в 2008 г. их было 24.

Таблица 1. Основные параметры землетрясений Таджикистана с $K_p \geq 12.6$ за 2008 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр				K_p	Магнитуда				
			φ°, N	λ°, E	h , км	h_{pp} , км		M_w	MS	M_s	$MPSP$	m_b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	03.01	20 23 23	36.50	70.50	200	208	15.0	6.6	6.2+0.8		5.9	5.8
2	04.01	23 12 59	36.60	70.90	190	194	14.0	5.7			5.9	5.6
3	20.02	03 48 47	34.10	73.90	20	21	13.1	5.5	5.1	5.1	5.6	5.4
4	03.03	14 22 12	38.20	71.40	20		13.0	5.1	4.6	4.6	5.1	4.9
5	16.04	21 27 49	34.00	70.00	10	16	13.4	5.2	4.8	4.9	5.6	5.4
6	29.04	08 26 50	40.00	74.40	10		13.3			3.6	4.5	4.3
7	10.05	17 34 07	38.25	67.85	10	21	13.2	5.0	4.6	4.5	5.5	5.3
8	26.08	07 26 38	38.95	70.55	10	36	12.8	4.9	4.3	4.4	5.1	4.8
9	22.10	19 51 27	36.60	70.90	190	188	14.4	6.1	5.3+0.8		6.3	6.1
10	29.10	17 44 34	36.60	70.60	210	213	14.6	6.2	5.3+0.8		5.9	5.8

Примечание. В графе 7 – глубины h_{pp} из [11]; в графе 10 для опубликованных в [13] значений магнитуд MS_{MOS} глубоких землетрясений по поверхностным волнам дана поправка (+0.8) согласно [20].

Карта эпицентров сильных ($K_p \geq 11.6$) землетрясений из табл. 1 дана на рис. 3.

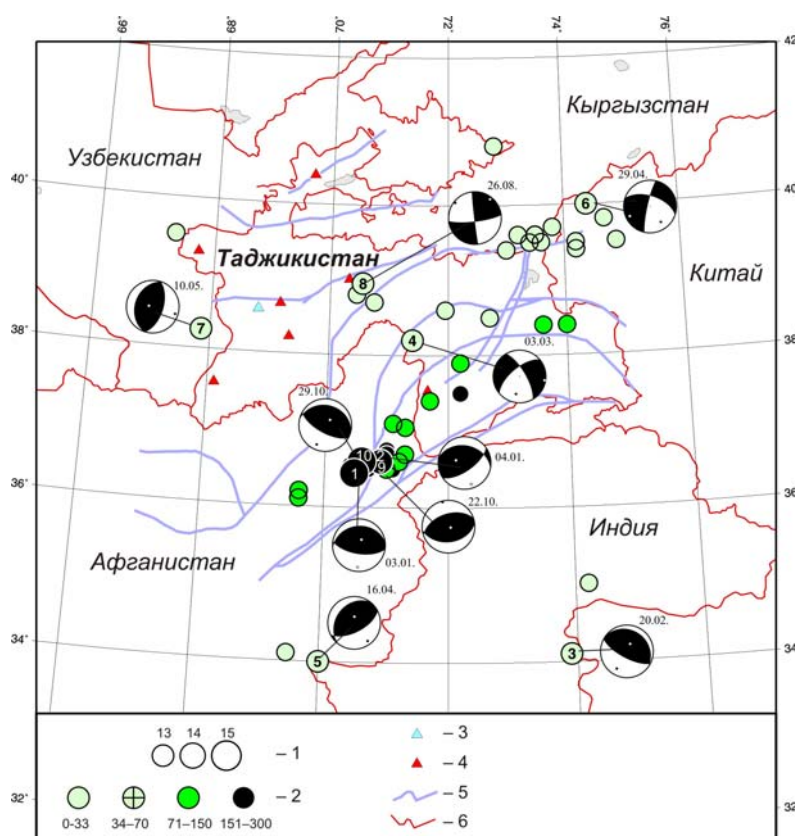


Рис. 3. Карта эпицентров сильных ($K_p \geq 11.6$) землетрясений Таджикистана за 2009 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3, 4 – сейсмическая станция, аналоговая и цифровая соответственно; 5 – глубинный разлом I-го порядка; 6 – государственная граница; пронумерованы землетрясения с $K_p \geq 12.6$.

Как видно, непосредственно на территории республики отмечены лишь два землетрясения из табл. 1: № 4, зарегистрированное 3 марта с $K_p=13.0$ на Памире, и № 8, произошедшее 26 августа с $K_p=12.8$ в Гармском районе, в зоне влияния Дарваз-Каракульского глубинного разлома I порядка. Остальные 8 событий с $K_p \geq 12.6$ локализованы вне границ Таджикистана (рис. 3).

Максимальное землетрясение № 1 имеет $K_p=15.0$ [9], $M_w=6.6$ [19]. Оно реализовалось в мантии ($h=200$ км, $h_{пр}=208$ км) 3 января в 20^h23^m и ощущалось в Душанбе с $I=5$ баллов ($\Delta=275$ км); в Нуреке (234 км) и Джерино (295 км) – 4–5 баллов; в Гарме (282 км) и Сарбанде (207 км) – 4 балла [9]. Согласно [13], оно ощущалось также с интенсивностью 3–4 балла по шкале MSK-64 [21] в Казахстане (Чимкент-652 км, Тараз-714 км). Этот список населенных пунктов существенно дополнен NEIC [14] по шкале MM, модифицированной шкале Меркали [22]: 2 балла (MM) – в Узбекистане (Ташкент-542 км) и Кыргызстане (Ош-490 км); в Афганистане с интенсивностью 4 балла (MM) в Баглане-160 км, Джабале-190 км, Чарикаре-205 км и 3 балла (MM) – в Джалалабаде-231 км, Баграми-249 км, Кубуле-250 км; в Пакистане с интенсивностью 4 балла (MM) в Пешаваре-292 км и 3 балла (MM) – в Исламабаде-398 км и Лахоре-655 км; в Индии, в Дели-1080 км. Как следует из [17], система напряжений в его очаге характеризуется близгоризонтальными ($PL_p=17^\circ$) напряжениями сжатия южной ориентации ($AZM_p=184^\circ$) и намного большим наклоном ($PL_T=72^\circ$) напряжений растяжения с ориентацией на север–северо-восток ($AZM_T=25^\circ$). Такая система напряжений обусловила в очаге почти чистый взброс по крутой ($DP_1=63^\circ$) близширотной ($STK_1=99^\circ$) плоскости NP1 и надвиг по пологой ($DP_2=28^\circ$) плоскости NP2 также близширотного (STK_2) простиранья.

В табл. 3 в этой же очаговой зоне отмечены еще три сильных землетрясения №№ 2, 9, 10, и могут быть рассмотрены в совокупности с сильнейшим с $K_p=15.0$. Как следует из рис. 3 и [17], все они возникли в условиях преваляирования близгоризонтальных (PL_p : 16°, 4°, 21°) напряжений сжатия. Подвижки в двух очагах (№ 2 и № 9) – почти чистый взброс по обеим нодальным плоскостям, чем они несколько отличаются от события № 1, но в очаге № 10 движения точно такие же, как в № 1 – взброс по крутой ($DP=66^\circ$) плоскости NP1 и надвиг по пологой ($DP=25^\circ$) (рис. 3).

Распределение всех землетрясений 2009 года по крупным сейсмоактивным зонам представлено в табл. 2. В скобках указаны соответствующие числа землетрясений в 2008 г. из [1].

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарной сейсмической энергии ΣE по крупным зонам I–IV за 2009 г.

№	Зона	K_p							N_Σ	ΣE , Дж
		9	10	11	12	13	14	15		
I	Юго-Западный Тянь-Шань	(84)	(5)	(2)	(2)				(93)	(2.20 10 ¹²)
		41	9	9	1				60	3.61·10 ¹²
II	Южный Тянь-Шань	(238)	(82)	(18)	(3)	(3)			(345)	(3.17 10 ¹³)
		256	58	26	5	3			348	5.33·10 ¹³
III	Памиро-Гиндукуш (коровые)	(768)	(326)	(158)	(19)	(5)	(3)		(1287)	(1.35 10 ¹⁵)
		317	114	42	12	1			486	3.12·10 ¹³
IV	Памиро-Гиндукуш (глубокие)	(3181)	(707)	(85)	(42)	(8)	(3)		(4029)	(8.45 10 ¹⁴)
		2707	499	97	22	0	2	2	3329	1.79·10 ¹⁵
	Вне	20	9	3	3	2			37	4.99·10 ¹³
	Всего	(4306)	(1094)	(263)	(67)	(16)	(6)		(5754)	(2.24·10 ¹⁴)
		3326	704	178	42	6	2	2	4260	1.93·10 ¹⁵

Из сравнения чисел землетрясений и высвобожденной сейсмической энергии за 2009 г. с аналогичными данными за 2008 г. [1] следует, что суммарное число землетрясений уменьшилось в 1.3 раза (4260 вместо 5754), но сейсмическая энергия, наоборот, возросла почти на порядок (1.93·10¹⁵ Дж вместо 2.24·10¹⁴ Дж) из-за описанных выше четырех землетрясений с $K_p \geq 14$.

По отдельным зонам произошло уменьшение числа землетрясений в зонах I (60 вместо 93), III (486 вместо 1287) и IV (3329 вместо 4029), и только в Южном Тянь-Шане (II) число землетрясений чуть возросло (с 345 до 348), а выделившаяся сейсмическая энергия возросла в трех из четырех зон (табл. 2).

Карта эпицентров всех землетрясений дана на рис. 4.

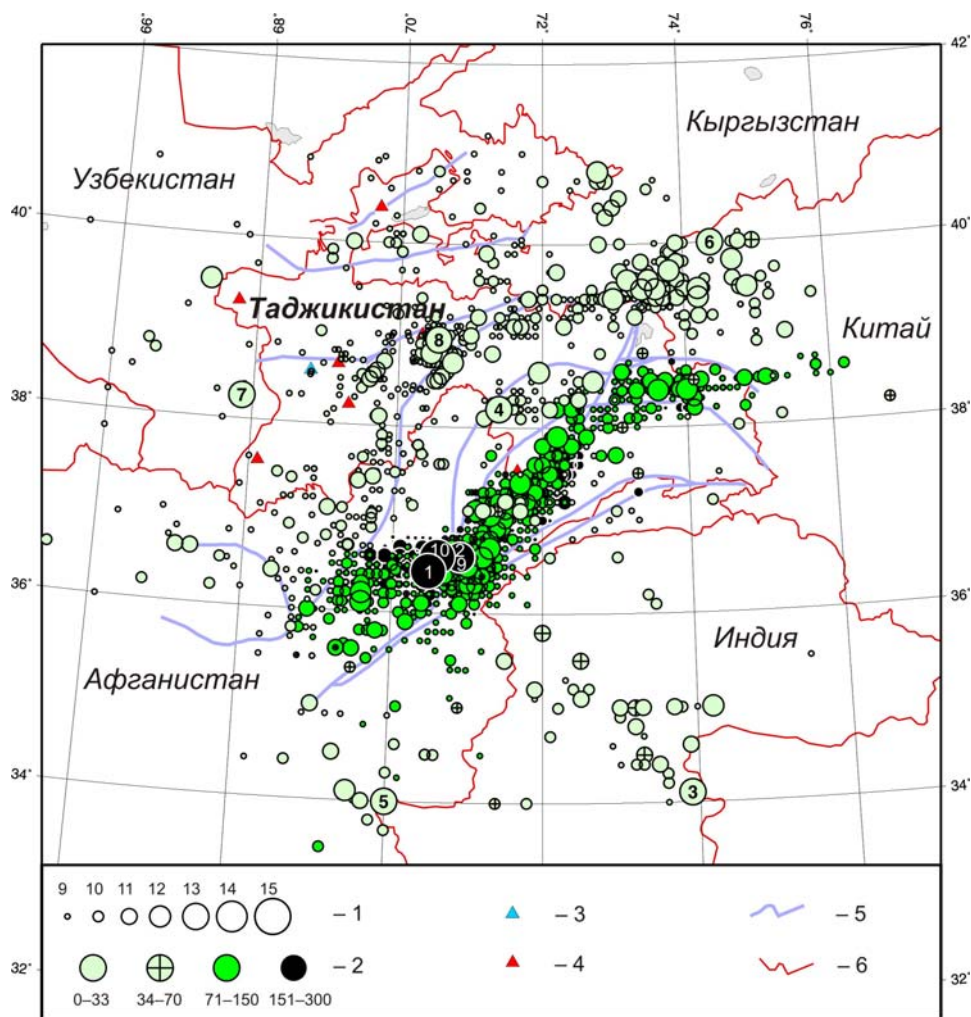


Рис. 4. Карта эпицентров всех 4260 землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий за 2009 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3, 4 – сейсмическая станция, аналоговая и цифровая соответственно; 5 – глубинный разлом I-го порядка; 6 – государственная граница.

Рассмотрим детально сейсмичность в каждой из зон I–IV.

Территория **Юго-Западного Тянь-Шаня (I)**, согласно табл. 2, характеризуется уменьшением числа землетрясений в ~ 1.5 раза (60 вместо 93), с почти таким же (в 1.6 раз) увеличением суммарной энергии ($3.61 \cdot 10^{12}$ Дж вместо $2.20 \cdot 10^{12}$ Дж). Она представлена на рис. 4 рассеянным полем из 60 землетрясений с $K_p=8.6$ –12.4. Максимальное ($K_p=12.4$) из них возникло 26 апреля в $23^{\text{h}}54^{\text{m}}10^{\text{s}}$ в Ленинабадской области, на крайнем северо-востоке зоны I. Оно в тот же день предварялось форшоком в $23^{\text{h}}52^{\text{m}}52^{\text{s}}$ с $K_p=11.0$, т.е. достаточно сильным толчком. Практически в том же месте 11 ноября в $02^{\text{h}}40^{\text{m}}$ возникло еще одно землетрясение с близкой энергией ($K_p=10.9$). Для этих трех землетрясений в [17] есть решения механизмов их очагов, которым соответствуют стереограммы на рис. 5.

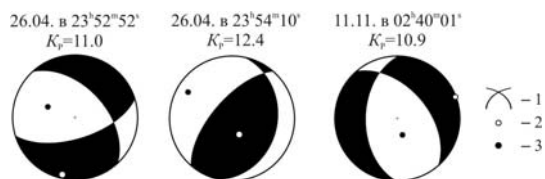


Рис. 5. Стереограммы механизмов очагов землетрясений Юго-Западного Тянь-Шаня в проекции нижней полусферы

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

Результат неожиданный, учитывая близость их координат ($\varphi_1=40.70^\circ\text{N}$, $\lambda_1=72.90^\circ\text{E}$; $\varphi_2=40.70^\circ\text{N}$, $\lambda_2=72.90^\circ\text{E}$; $\varphi_3=40.70^\circ\text{N}$, $\lambda_3=72.90^\circ\text{E}$), т.к., казалось бы, априори все механизмы

должны быть подобны. Но в данном случае это не так: подвижки подобны в очагах 1-го и 3-го толчков, правда, только по типу – сбросо-сдвиг. В очаге максимального из них, наоборот, почти чистый взброс по крутой плоскости и надвиг – по пологой.

Вблизи максимального землетрясения в один день, 20 октября, реализовалась цепочка из трех толчков 11-го класса: в 16^h44^m34^s с $K_p=11.0$, в 16^h44^m47^s с $K_p=10.8$ и в 21^h48^m23^s с $K_p=10.6$. Далее в направлении на юго-запад, вблизи 40-й параллели, заметны еще два землетрясения 11-го класса, зарегистрированные 9 апреля в 01^h57^m с $K_p=11.0$ и 26 декабря в 00^h44^m с $K_p=11.1$. Ощутимым с интенсивностью $I=3-4$ балла явилось одно землетрясение вблизи (6 км) Ура-Тюбе, произошедшее 14 марта в 02^h47^m с $K_p=10.2$ [15].

В пределах **Южного Тянь-Шаня (II)** развитие сейсмического процесса в 2009 г. рассмотрим по большим эпицентральных зонам – в Гиссаро-Кокшаальской области и в Таджикской депрессии. В первой из них произошло наибольшее число землетрясений с очагом в земной коре, особенно в наиболее активной его части, в зоне влияния трех крупнейших глубинных разломов – Дарваз-Заалайского, Гиссаро-Кокшаальского и Илякско-Вахшского (см. рис. 2, рис. 4)).

Наиболее интересное из них – землетрясение № 8 (26 августа в 08^h26^m с $K_p=12.8$, $\varphi=38.95^\circ N$, $\lambda=70.55^\circ E$), т.к. оно произошло в Гармском густонаселенном районе. Стереодиаграмма механизма его очага «подвешена» на рис. 3. Согласно [17], в его очаге практически равные напряжения сжатия и растяжения ($PL_p=6^\circ \cong PL_T=9^\circ$), что обусловило чистые сдвиги по обеим нодальным плоскостям, правосторонний по $NP1$ и левосторонний – по $NP2$. Оно ощущалось в Раште (Гарме) на расстоянии 21 км с интенсивностью $I=5$ баллов, в Хаите (36 км) – 4 балла, в Джерино (146 км) – 2 балла [15]. Кроме того, здесь отмечены еще пять ощутимых землетрясений. Одно из них возникло 8 декабря в 22^h30^m с $K_p=10.6$ непосредственно вблизи (5 км) створа Рогунской ГЭС и вызвало колебания с $I=3$ балла. Другое, зарегистрированное 14 ноября в 13^h25^m с $K_p=9.4$, локализовано вблизи (11 км) очага катастрофического Хаитского землетрясения 10.07.1949 г. с $K_p=17$, $MLH=7.4$ [23–25]. В самом Хаите оно ощущалось с $I=2-3$ балла. Три землетрясения (25 мая в 15^h18^m с $K_p=12.5$, 25 августа в 06^h45^m с $K_p=10.9$, 13 октября в 12^h47^m с $K_p=11.8$) проявили себя в районном центре Гарм на удалении от них в 26, 18 и 49 км с интенсивностью 4, 3 и 3–4 балла соответственно [15].

Остальные два события под № 6 (29 апреля в 08^h26^m с $K_p=13.3$, $\varphi=40.00^\circ N$, $\lambda=74.40^\circ E$) и № 7 (10 мая в 17^h34^m с $K_p=13.2$, $\varphi=38.25^\circ N$, $\lambda=67.85^\circ E$), как видно из рис. 3, находятся уже вне границ Республики Таджикистан, особенно № 6. Из них более интересно событие № 7 от 10 мая, т.к. оно локализовано вблизи Гиссарской долины и ощущалось не только в ее населенных пунктах (Гиссар (65 км), Арджинак (85 км), Карасу (100 км), Джерино (105 км) с $I=3-4$ балла), но и на юге Таджикистана, в Таджикской депрессии (Сарбанд (102 км), Игрон (130 км), Нурек (130 км) с $I=2-3$ балла) [15]. Согласно [17], в его очаге значительно преобладают напряжения сжатия ($PL_p=12^\circ \ll PL_T=78^\circ$), что обусловило чистый взброс по обеим нодальным плоскостям. С другой стороны, интересно своим механизмом и крайнее восточное землетрясение № 6 из-за наличия компонентов сброса при основных сдвиговых подвижках (рис. 3), хотя сбросы практически не наблюдаются в рассматриваемой эпицентральной зоне.

В пределах описываемой эпицентральной зоны в [17] имеются решения механизма очагов еще для семи землетрясений (табл. 3).

Таблица 3. Список более слабых землетрясений с $K_p=10.0-11.8$ в Гиссаро-Кокшаальском эпицентральной зоне с известными механизмами очагов

№	Дата, д м	t_0 ч мин	Гипоцентр			K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			φ°, N	λ°, E	$h,$ км		T		N		P		$NP1$			$NP2$		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
1	15.07	16 56	39.00	71.00	10	11.2	8	102	14	12	73	221	360	55	-108	208	39	-67
2	22.08	09 32	39.40	72.60	20	10.0	28	121	39	6	40	237	263	39	-11	2	83	128
3	02.09	09 15	39.40	71.80	10	10.7	72	328	7	76	16	172	272	29	104	76	62	82
4	08.09	05 31	39.20	71.60	10	10.4	11	163	38	63	50	266	289	47	-34	44	66	132
5	10.09	13 32	39.40	72.00	10	10.4	25	179	60	56	16	277	320	60	6	227	85	150
6	13.10	12 47	38.70	70.75	10	11.8	6	272	84	100	1	2	47	86	3	317	87	176
7	17.11	04 25	39.10	72.30	10	10.6	36	201	51	350	15	100	234	54	163	334	77	37

Их стереограммы даны на рис. 6.

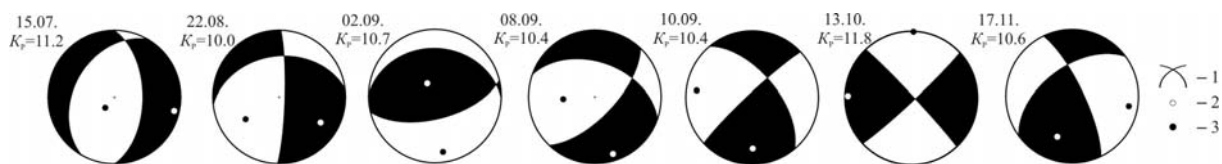


Рис. 6. Стереограммы механизмов очагов землетрясений Южного Тянь-Шаня в 2009 г. из табл. 3 в проекции нижней полусферы

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

Три из них (15 июля, 22 августа и 8 сентября) совершенно неожиданно характеризуются сбросовыми подвижками в очаге, из них первый находится на восточной границе Гармского района. В одном очаге (2 сентября), непосредственно на границе с Киргизией, произошел чистый взброс. В остальных трех (10 сентября, 13 октября и 17 ноября) реализовались движения типа сдвиг по обеим плоскостям, с небольшими компонентами взброса.

На юге карты эпицентров (рис. 4) в пределах Таджикской депрессии и северных районов Афганистана, по данным [9], только одно землетрясение имеет глубину $h=30$ км, шесть – $h=20$ км, а всем остальным приписана глубина $h=10$ км. Решения механизма очага нет ни для одного из них, как нет и макросейсмических данных. Это связано с относительно низким уровнем энергии всех коровых событий на юге Таджикистана.

В Памиро-Гиндукушской зоне (III) сейсмичность в пределах земной коры уменьшилась, по сравнению с уровнем в 2008 г., как по числу землетрясений в 2.6 раза (486 вместо 1287), так и по уровню суммарной сейсмической энергии почти на два порядка – с $1.35 \cdot 10^{15}$ Дж до $3.12 \cdot 10^{13}$ Дж (табл. 2). Рассмотрим их выборочно на трех площадках.

Первая включает коровые землетрясения как раз над всеми глубокими очагами во всех трех подзонах – Афганской, Хорогской и Мургабской. Таких землетрясений оказалось очень мало, всего по 21 коровому ($h=2-60$ км) землетрясению над Афганской и Хорогской подзонах и лишь 5 коровых землетрясений – над Мургабской зоной. В то же время под ними, в мантии, соответствующие числа глубоких землетрясений равны 1455, 1661 и 162, т.е. больше коровых в 69, 79 и 32 раза [9].

Вторая площадка выбрана в области повышенной плотности эпицентров на Северном Памире, между двумя глубинными разломами – Ванч-Акбайтальским (6) и Бартанг-Пшартским (8) (см. рис. 2). Здесь произошло 39 землетрясений, максимальное из которых с $K_p=13.0$, $M_w=5.1$ возникло 3 марта в $14^{\text{h}}22^{\text{m}}$. Согласно [17], в его очаге заметно преобладали напряжения растяжения ($PL_T=4^\circ \ll PL_P=33^\circ$), поэтому преимущественные сдвиги по обеим нодальным плоскостям оказались осложнены компонентами сброса (рис. 3). Это землетрясение ощущалось в районном центре Ванч на расстоянии 19 км с $I=4$ балла, в Хаите (118 км) – 3 балла, в Душанбе (230 км) – 2 балла [15] и даже в Хороге [14]. Ощутимым в Ванче с $I=3$ балла было и землетрясение 3 октября в $22^{\text{h}}46^{\text{m}}$ с $K_p=10.2$. Отметим на Памире еще одно ощутимое землетрясение 11 июля в $18^{\text{h}}16^{\text{m}}$ с $K_p=10.9$, но в его восточной части, вызвавшее сотрясения интенсивностью 2–3 балла вблизи (28 км) знаменитого Сарезского озера, возникшего в результате грандиозного Усойского завала после катастрофического 9-балльного Сарезского землетрясения 18.02.1911 г. с $MLN=7.4$, описанного Б.Б. Голицыным [26] и Б. Гуттенбергом [27].

Третья площадка самая удаленная и оконтуривает коровые землетрясения к югу от зоны глубоких землетрясений Памиро-Гиндукуша, на территории Кашмира (Индия) и Афганистана.

В Кашмире эпицентры образуют явно выраженную линейную структуру протяженностью 215 км, вытянутую с северо-запада на юго-восток. Она завершается сильным землетрясением № 3 (рис. 3 и 4) с $K_p=13.1$, $M_w=5.5$, $h_{pP}=21$ км, произошедшим 20 февраля в $03^{\text{h}}48^{\text{m}}$ [9]. Согласно [17], в его очаге ось напряжений сжатия наклонена к горизонту под углом $PL_P=25^\circ$, а ось растяжения – $PL_T=65^\circ$. Движение под действием таких напряжений представлено чистым взбросом по крутой нодальной ($DP_1=70^\circ$) плоскости $NP1$ и надвигом с минимальными компонентами правостороннего сдвига по очень пологой ($DP_2=21^\circ$) плоскости $NP2$ (рис. 3). Отметим наличие в этой структуре трех ощутимых землетрясений, по данным NEIC из [14]: 13 января в

01^h48^m с $K_p=11.4$ ощущалось в Асадабаде (129 км), Афганистан; 6 апреля в 07^h01^m с $K_p=10.2$ – в Равалпинди (175 км), Пакистан; 27 июля в 06^h23^m с $K_p=11.9$ – в Исламабаде (176 км) с интенсивностью $I=3$ балла (ММ), а также ощущалось в Абботабаде (130 км), Равалпинди (188 км), Пешаваре (271 км), Пакистан [15].

Эпицентры в Афганистане представлены рассеянным облаком из 16 землетрясений с максимальным толчком под № 5, зарегистрированным 16 апреля в 21^h27^m с $K_p=13.4$, $M_w=5.2$. В его очаге преобладали напряжения сжатия ($PL_p=15^\circ \ll PL_T=71^\circ$), в результате движения по обеим нодальным плоскостям – практически чистый взброс (рис. 3), с незначительными компонентами сдвига, правосторонними по $NP1$ и левосторонними – по $NP2$ [17].

В **Памиро-Гиндукушской зоне (IV)** глубокофокусных землетрясений локализовано 3329 землетрясений с $K_p \geq 8.6$ на глубинах $h=70-300$ км. Их пространственное распределение представлено на рис. 4. Рассмотренное выше максимальное глубокое землетрясение 3 января с $K_p=15.0$, $M_w=6.6$ детально описано вместе с тремя другими глубокими толчками 4 января с $K_p=14.0$, 22 октября с $K_p=14.4$ и 29 октября с $K_p=14.6$ (табл. 1). Следует особо отметить, что суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная в их очагах, составила $\Sigma E=1.75 \cdot 10^{15}$ Дж, тогда как вся годовая энергия с громадной территории в 19 кв. градусов равна $\Sigma E_{\text{пер}}=1.93 \cdot 10^{15}$ Дж. Следовательно, в очагах 4 глубоких толчков выделилось 90.7% от всей годовой энергии.

Основная часть глубокофокусных землетрясений располагалась на территории Афганистана. Традиционно вся область глубокофокусных землетрясений подразделяется по плотности гипоцентров на три подзоны: Афганскую ($\varphi \leq 36.9^\circ N$), Хорогскую ($\varphi \leq 37.9^\circ N$) и Мургабскую ($\varphi \leq 38.8^\circ N$). Такое деление целесообразно, так как они характеризуются разным видом распределения землетрясений по глубине (табл. 4).

Таблица 4. Распределение землетрясений по глубинам в пределах Афганской, Хорогской и Мургабской подзон в 2009 г.

h , км	Подзона					
	Афганская		Хорогская		Мургабская	
	Ni	Ni/N	Ni	Ni/N	Ni	Ni/N
70	6	0.0041	9	0.0054	3	0.0179
80	131	0.0887	175	0.1043	51	0.3054
90	6	0.0041	20	0.0119	9	0.0539
100	141	0.0955	214	0.1276	73	0.4371
110	8	0.0054	66	0.0394	2	0.0119
120	11	0.0074	70	0.0417	1	0.0059
130	116	0.0786	163	0.0972	6	0.0359
140	87	0.0589	103	0.0614	4	0.0239
150	133	0.0901	119	0.0709	6	0.0359
160	102	0.0691	135	0.0805	4	0.0239
170	28	0.0189	40	0.0238		
180	119	0.0806	149	0.0888		
190	144	0.0976	74	0.0441		
N_Σ	1455	100%	1656	100%	162	100%
$\Sigma E=$	$1.77 \cdot 10^{15}$ Дж		$1.79 \cdot 10^{13}$ Дж		$3.36 \cdot 10^{12}$ Дж	

Соответствующие числа землетрясений в них составили 1455, 1656 и 162 землетрясения соответственно. Необычным в 2009 г. является преимущество по числу землетрясений Хорогской подзоны, чего прежде не наблюдалось. Однако по суммарной энергии ситуация обычная – максимум в Афганской подзоне, минимум суммарной энергии и числа землетрясений – в Мургабской подзоне.

Максимальным в Хорогской подзоне явилось землетрясение 2 июля в 23^h50^m с $K_p=12.5$, $h=110$ км. Оно ощущалось в Гарме (215 км) с $I=3-4$ балла, в Душанбе (286 км) – 2–3 балла. В его очаге напряжения сжатия и растяжения достаточно близки по величине (табл. 5), поэтому возникла подвижка типа сдвиг, правосторонний по плоскости $NP1$ и левосторонний – по $NP2$, осложненный компонентами взброса (рис. 7).

Максимальное в Мургабской подзоне землетрясение с $K_p=12.0$ зарегистрировано 26 февраля в 07^h50^m на глубине $h=100$ км. Сведений о его ощутимости и механизме очага нет.

Механизмы очагов известны еще для одного землетрясения Хорогской подзоны (2 июля) и двух в Афганской подзоне (5 июля и 19 сентября). Они приведены в табл. 5, а стереограммы – на рис. 7.

Таблица 5. Список более слабых глубоких землетрясений с $K_p \geq 12$ с известными механизмами очагов

№	Дата, д м	t_0 ч мин	Гипоцентр			K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			φ°, N	λ°, E	$h,$ км		T		N		P		NP1			NP2		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	02.07	23 50	37.40	71.70	110	12.5	31	163	49	31	25	269	215	86	139	309	49	5
2	05.07	09 45	36.50	71.10	240	12.2	55	240	24	9	24	110	1	73	65	239	30	144
3	19.09	04 17	36.50	70.60	200	12.2	63	18	0	108	27	198	108	72	90	289	18	90

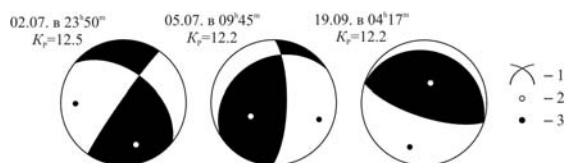


Рис. 7. Стереогаммы механизмов очагов глубоких землетрясений с $K_p \geq 12$ в проекции нижней полусферы
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

В очаге землетрясения 5 июля преобладают напряжения сжатия. Подвижка типа взброс по крутой ($DP_1=73^\circ$) плоскости NP1 с компонентами левостороннего сдвига. По пологой ($DP_1=30^\circ$) плоскости NP2 – надвиг, осложненный правосторонним сдвигом. Оно ощущалось с интенсивностью 2 балла MSK-64 в Душанбе на расстоянии 307 км [9] и 2 балла ММ – в Кабуле на расстоянии 281 км [11]. По данным NEIC [14], оно также ощущалось в городах Баглане (213 км), Чарикаре (240 км), Джабале (228 км) Афганистана; и в городах – Абботабаде (324 км), Читрале (96 км), Харипуре (324 км), Исламабаде (367 км), Хайбаре (330 км), Котли (420 км), Малаканде (227 км), Маншере (307 км), Мардане (270 км), Музаффарабаде (320 км), Пешаваре (280 км), Равалпинди (369 км), Саргозе (512 км), Свате (170 км) Пакистана.

В очаге землетрясения 19 сентября в 04^h17^m с $K_p=12.2$ преобладают напряжения сжатия (табл. 5) близмеридиональной ориентации. Подвижка в очаге – чистый взброс по крутой ($DP_1=72^\circ$) плоскости NP1 и чистый надвиг – по пологой ($DP_2=18^\circ$) плоскости NP2. Оно ощущалось только в Кабуле (255 км) [17].

В заключение приведем информацию о числе и интенсивности сотрясений, отмеченных персоналом станции «Душанбе» за 2009 г.

Таблица 6. Список землетрясений Таджикистана из [15], ощущавшихся в Душанбе в 2009 г.

№	Дата, д м	t_0 ч мин с	Гипоцентр			K_p	Mw	$\Delta,$ км	$I,$ балл
			φ°, N	λ°, E	$h,$ км				
1	03.01	20 23 23	36.50	70.50	200	15.0	6.6	275	5
2	04.01	23 12 59	36.60	70.90	190	14.0	5.7	287	3
3	20.01	09 26 14	36.20	69.60	130	11.6		273	2
4	03.03	14 22 12	38.20	71.40	20	13.0	5.1	231	2
5	06.04	18 11 50	36.50	71.00	100	12.2		301	2
6	09.04	16 34 29	36.60	70.80	200	12.4		281	2
7	10.05	17 34 07	38.25	67.85	10	13.2	5	90	3–4
8	17.05	11 57 59	36.65	70.90	230	12.3		283	2
9	25.05	15 18 53	38.80	70.45	10	12.5		146	2
10	04.06	08 06 03	38.52	68.78	5	9.3		5	2
11	17.06	09 22 16	38.10	69.75	10	11.4		98	2
12	02.07	23 50 49	37.40	71.70	110	12.5		286	2–3
13	05.07	09 45 49	36.50	71.10	240	12.2	5.3	307	2
14	09.07	21 49 15	36.70	71.30	150	11.8		303	2
15	29.08	14 09 52	38.55	68.79	5	9.5		2	3
16	29.08	14 19 47	38.55	68.78	5	8.6		2	2

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			K_p	M_w	Δ , км	I_s , балл
			φ° , N	λ° , E	h , км				
17	03.09	18 41 51	38.55	68.78	5	8.6		2	2
18	11.10	23 33 02	38.75	68.65	10	8.6		24	2
19	13.10	12 47 15	38.70	70.75	10	11.8		171	2–3
20	22.10	19 51 27	36.60	70.90	190	14.4	6.1	287	4–5
21	29.10	17 44 34	36.60	70.60	210	14.6	6.2	271	5

Как следует из табл. 6, максимальная наблюдаемая интенсивность I_{\max} сотрясений составила 5 баллов по шкале MSK-64 и была вызвана сильнейшими глубокими землетрясениями Гиндукуша 3 января с $K_p=15.0$, $M_w=6.6$ и 29 октября с $K_p=14.6$, $M_w=6.2$ при почти одинаковых эпицентральных расстояниях 275 и 271 км. Три слабых землетрясения 9-го класса (29 августа и 3 сентября), но возникших практически в черте города, всего в 2 км от станции и ощущались сотрясениями скорее всего в виде вертикальных высокочастотных колебаний, но с небольшой интенсивностью 2 балла. Все же чаще, в 9 случаях из 15, жители города ощущали длиннопериодные колебания из ядра глубокофокусных землетрясений Афганской подзоны, с глубин в 130–240 км.

В итоге можно констатировать, что сейсмический процесс в Таджикистане и прилегающих территориях в 2009 г. протекал спокойно при небольшом ($N=10$) числе сильных ($K_p \geq 12.6$) землетрясений и сотрясений не выше 5 баллов. В целом сейсмический режим и напряженно-деформированное состояние земной коры и мантии соответствуют их обычным характеристикам и долговременным тенденциям неотектонического развития территории Таджикистана.

Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И., Хусейнова Г.А. Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 128–141.
2. Негматуллаев С.Х. Современная сеть сейсмического мониторинга Таджикистана // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 125–131.
3. Улубиева Т.Р. (сост.). Сейсмические станции Геофизической службы АН Республики Таджикистан в 2009. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
4. Бабаев А.М., Джураев Р.У. Геологическая привязка сети цифровых широкополосных сейсмических станций на территории Таджикистана. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
5. Саломов Н.Г., Улубиева Т.Р., Рислинг Л.И., Шакиржанова Г.Н., Джураев Р.У. Таджикистан за 1993–1995 годы // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 49–58.
6. Ачилов Г.Ш., Бабаев А.М., Мирзоев К.М., Михайлова Р.С. Сейсмогенные зоны Памира // Геология и геофизика Таджикистана. – № 1. – Душанбе: Дониш, 1985. – С. 117–138.
7. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И., Хусейнова Г.А. Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 133–144.
8. Негматуллаев С.Х., Девонашоев А.Ю., Мирбаева З.Д. Возрождение сети сейсмического мониторинга в Таджикистане // Уменьшение стихийных бедствий и управление этими рисками. – Душанбе: Дониш, 2006. – С. 3–15.
9. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Михайлова Р.С., Нилобекова З.М., Маматкулова З.С., Дмитриева Т.Н., Кутузова А.П., Валявская Т.Н., Артёмова Е.В. (сост.). Каталог землетрясений Таджикистана за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Михайлова Р.С., Нилобекова З.М., Маматкулова З.С., Дмитриева Т.Н., Кутузова А.П., Валявская Т.Н. (сост.). Каталог землетрясений Таджикистана за 2008 г. ($N=5754$) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).
11. International Seismological Centre. On-Line Bulletin // International Seismological Centre [сайт]. [2012]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
12. Джанузакон К.Д. (отв. сост. по региону), Шукурова Ы.Б. (сост. по региону), Соколова Н.П. (Кыргызстан), Калмыкова Н.А. (Казахстан), Холикова М.А. (Узбекистан); Сопиева К.Б., Шипулина С.А., Умурзакова Р.А., Проскурина Л.П., Ульянина И.А., Каймачникова Н.И., Гайшук Л.Н., Тулегенова М.К., Джахимова Д., Артёмова Е.В. (сост.). Каталог землетрясений Центральной Азии за 2009 г. – (См. Приложение к наст. сб. на CD).

13. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2009 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2009–2010. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2009/.
14. **GS National Earthquake Information Centre**. – URL: <ftp://hazards.cr.usgs.gov/edr/>.
15. **Улубиева Т.Р., Артёмова Е.В., Пойгина С.Г. (отв. сост.)**. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Таджикистана в 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
16. **Улубиева Т.Р., Артёмова Е.В., Пойгина С.Г. (сост.)**. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Таджикистана за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
17. **Артёмова Е.В., Левина В.И., Михайлова Р.С. (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Таджикистана за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
18. **Муралиев А.М. (отв. сост.), Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С., Полешко Н.Н., Досайбеков С., Каймачникова Н.И., Хамидов Х. (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Центральной Азии за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
19. **Global CMT** – URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
20. **Кондорская Н.В.** Инструментальные данные // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 13.
21. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага)**. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
22. **Гир Дж., Шах Х.** Модифицированная шкала Меркалли // Зыбкая твердь. – М.: Мир, 1988. – С. 105–108.
23. **Михайлова Р.С., Катов А.П., Матасова Л.М., Джанузакон Л.М., Сыдыков А. (отв. сост.)**. III. Средняя Азия и Казахстан [300 до н.э. – 1974 гг., $M \geq 5.0$, $MPSP \geq 5.6$, $MPVA \geq 5.3$; $I_0 \geq 6.0$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 198–296.
24. **Губин И.Е.** Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. – М.: АН СССР, 1960.
25. **Леонов Н.Н.** Хаитское землетрясение 1949 г. и геологические условия его возникновения // Известия АН СССР. Серия геофизическая. – 1960. – № 3. – С. 409–424.
26. **Голицын Б.Б.** О землетрясении 18 февраля 1911 г. // Известия Российской Академии наук. – 1915. – 9. – № 10.
27. **Gutenberg B., Richter C.F.** Seismicity of the Earth and Associated Phenomena. – Princeton Univ. Press, 1954.