

ТАДЖИКИСТАН

Т.Р. Улубиева¹, Р.С. Михайлова², Л.И. Рислинг¹¹Институт сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, anton_ulubiev@mail.ru²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, raisa@gstras.ru

Система наблюдений. Сеть сейсмических станций Таджикистана в 2004 г. представлена 11 станциями: «Душанбе», «Джерино», «Нурек», «Шаартуз», «Гиссар», «Игрон», «Гезан», «Богизагон», «Уратюбе», «Рогун» и «Больджуан» (рис. 1), т.е. на одну станцию меньше, чем в 2003 г. [1]. Без пропусков работали только три: «Душанбе», «Джерино», «Нурек» (Лангар). Станция «Боги-Загон» не работала с 27 января по 6 февраля, с 21 февраля по 9 апреля, с 25 мая по 9 апреля, с 14 августа по 3 сентября, с 21 сентября по 2 октября, с 24 октября по 10 ноября и 21–29 декабря. С сейсмической станции «Гезан» отсутствуют материалы наблюдений за периоды с 1 января по 22 июня, с 27 июля по 6 августа, с 19 августа по 13 сентября, 10–21 октября, с 26 ноября по 3 декабря, 6–31 декабря. На станции «Игрон» не было регистрации землетрясений 11–14 апреля, 21–31 мая и с 4 июля по 20 ноября. Станция «Гиссар» не работала с 24 января по 18 апреля, с 13 мая по 25 июня, 10–26 октября и 19–24 ноября; «Рогун» – с 1 января по 20 мая, с 1 июня по 9 августа, с 15 ноября по 25 декабря; «Уратюбе» – 11–20 февраля, 7–26 марта, 11–16 апреля, с 20 июня по 10 июля, с 23 августа по 12 сентября и с 10 октября по 20 декабря; «Шаартуз» – с 26 февраля по 11 марта, с 20 апреля по 31 мая, с 16 июня по 19 ноября; «Больджуан» – 1–15 января, с 1 февраля по 15 марта, 19–25 марта, 3–11 апреля, с 26 апреля по 15 мая; с 28 мая по 3 июня, с 16 августа по 31 декабря.

После двухлетнего перерыва была вновь запущена в эксплуатацию 19 декабря сейсмическая станция «Ленинабад». На всех сейсмических станциях была плохая служба времени, частое не прохождение сигналов точного времени. Из-за этого материалы наблюдений станций использовались не в полной мере, привязка станций велась часто по фиктивной волне $S-P$. Такая система наблюдений обеспечивала представительную регистрацию землетрясений с $K_p=10$ на всей территории Таджикистана, за исключением самых окраинных северо- и юго-восточных частей, где уровень K_{min} повышается до $K_p=11$ (по существующей методике) [2].

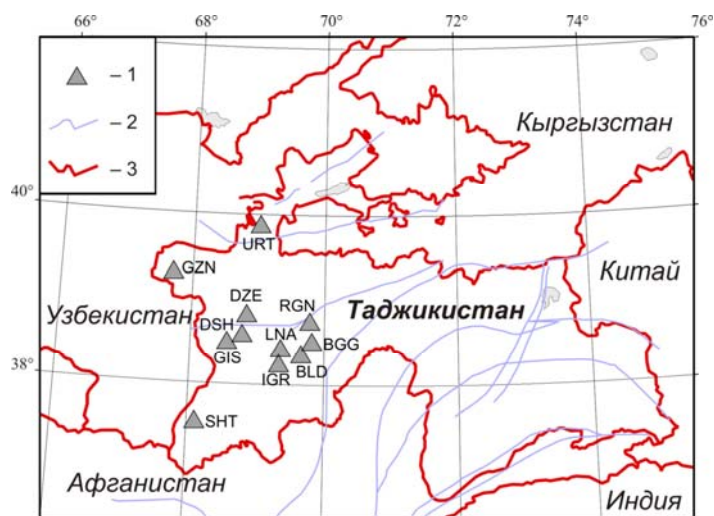


Рис. 1. Сейсмические станции на территории Таджикистана в 2004 г.

1 – сейсмическая станция, 2 – разлом, 3 – государственная граница. Коды и названия станций: URT – «Уратюбе»; GZN – «Гезан»; DZE – «Джерино»; RGN – «Рогун»; DSH – «Душанбе»; GIS – «Гиссар»; LNA – «Нурек» (Лангар); BGG – «Богизагон»; IGR – «Игрон»; BLD – «Больджуан»; SHT – «Шаартуз».

В целом границы исследуемой территории и схема сейсмоактивных зон Таджикистана не изменились, по сравнению с установленными в 1995 г. [3]. Остались прежними методика обработки землетрясений [4–7] и оценка точности определения их координат [8–10]. Классификация землетрясений традиционно проводилась по шкале Т.Г. Раутиан с использованием эпицентральных расстояний для очагов с $h=0–69$ км [11, 12] и гипоцентральных – с $h=70–300$ км [13].

В результате сводной обработки составлен каталог землетрясений Таджикистана и прилегающих к нему районов Узбекистана, Кыргызстана, Афганистана и Китая [14]. По данным этого каталога, на изучаемой территории локализовано 1800 землетрясений, т.е. на 73 события меньше, чем в 2003 г. [1]. Однако энергетический диапазон возрос на два порядка: в 2003 г. – $K_p=9.0–13.9$, в 2004 г. – $K_p=9.0–15.9$. Для 25 землетрясений в Республике собраны сведения об их ощутимости. Суточные числа коровых и глубоких землетрясений в 2004 г. показаны на рис. 2, 3.

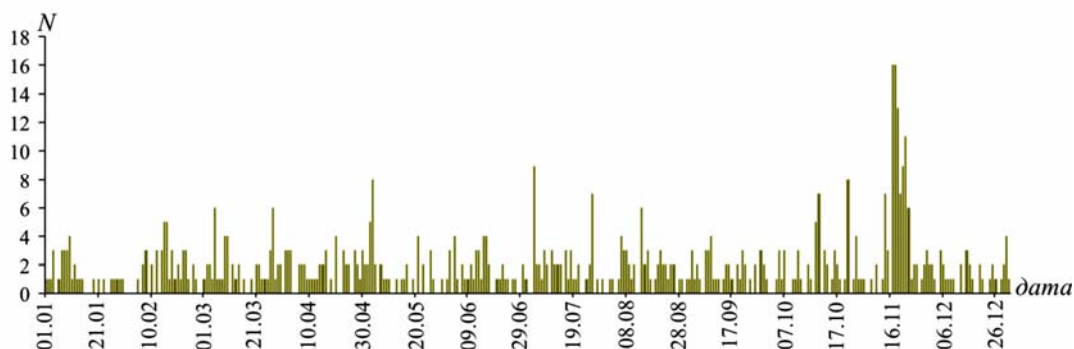


Рис. 2. Суточные числа коровых землетрясений Таджикистана с $h=0–69$ км за 2004 г.

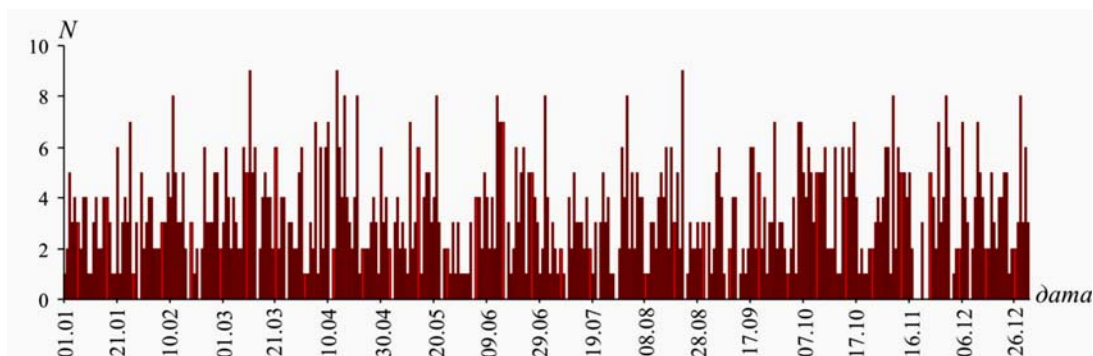


Рис. 3. Суточные числа глубоких землетрясений Таджикистана с $h \geq 70$ км за 2004 г.

Для коровых землетрясений (рис. 2) заметен всплеск числа землетрясений в конце года, с 17 по 26 ноября, вызванный Карамыкским землетрясением 17 ноября в $20^{\text{h}}58^{\text{m}}$ с $K_p=14.5$ [14], $M_w=5.8$ [15], рассмотренным ниже по району № 2. Землетрясение предвлялось форшоками и сопровождалось афтершоками [16]. Суточный ход числа глубоких землетрясений (рис. 3) достаточно ровный, без заметных нарушений.

Максимальная глубина очагов в 2004 г. составила $h=250$ км, что на 50 км меньше, чем в [1]. Такую глубину имеют семь землетрясений, из которых только одно (21 апреля в $05^{\text{h}}09^{\text{m}}$ с $K_p=9.7$) локализовано в Хорогской подзоне глубоких землетрясений (с $\varphi=37.30^{\circ}\text{N}$, $\lambda=71.90^{\circ}\text{E}$), остальные шесть (9 апреля в $14^{\text{h}}50^{\text{m}}$ с $K_p=9.7$, 6 июня в $03^{\text{h}}48^{\text{m}}$ с $K_p=9.1$, 30 июля в $01^{\text{h}}34^{\text{m}}$ с $K_p=10.3$, 13 сентября в $21^{\text{h}}59^{\text{m}}$ с $K_p=10.1$, 25 октября в $21^{\text{h}}44^{\text{m}}$ с $K_p=10.2$, 28 декабря в $19^{\text{h}}51^{\text{m}}$ с $K_p=9.4$) – в Афганской, причем, последние четыре из перечисленных с одинаковыми координатами, равными $\varphi=36.60^{\circ}\text{N}$, $\lambda=71.00^{\circ}\text{E}$ [14]. Общее распределение землетрясений по глубинам гипоцентров дано на рис. 4. Сравнение его с таковым в 2003 г. [1] обнаруживает значительное подобие, хотя некоторые различия есть в относительной плотности гипоцентров на разных горизонтах.

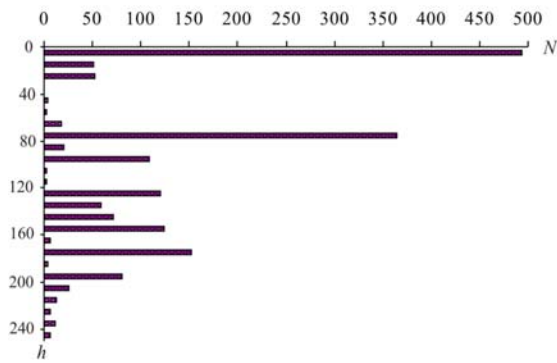


Рис. 4. Диаграмма распределения землетрясений Таджикистана по глубинам в 2004 г.

из [17], для одного – из [19]. В результате в [20] сведения об осязутимости содержатся для 38 землетрясений. Наибольшая интенсивность сотрясений на территории Республики составила $I=5$ баллов в Ура-Тюбе (25 км) от корового ($h=20$ км) землетрясения 27 марта в 00^h43^m с $K_p=13.0$ [20], $M_w=5.0$ [15]. Сотрясения с $I=4-5$ баллов отмечены в Гарме (10 км) от мелкого ($h=10$ км) землетрясения 26 мая в 13^h27^m с $K_p=11.9$, а также в Душанбе от двух глубоких ($h=185$ и 207 км) и сильных землетрясений Гиндукуша, зарегистрированных 5 апреля в 21^h24^m с $K_p=15.9$, $M_w=6.5$ и 10 августа в 01^h47^m с $K_p=14.5$, $M_w=6.0$ соответственно.

Кроме того, каталог [20] был традиционно дополнен значениями магнитуд M_w , MS , Ms , $MPSP$, m_b из бюллетеней [15, 21]. Сведения о механизмах очагов землетрясений Таджикистана собраны для 42-х землетрясений [23] из двух источников [15, 24].

Суммарные числа землетрясений разных классов за 2004 г., как коровых, так и глубоких, приведены в табл. 1 а, б в сопоставлении с аналогичными данными за предшествующие 11 лет (с 1993 по 2003 гг.).

Из сравнения представленных в табл. 1 а, б данных о числе землетрясений и высвобожденной в их очагах сейсмической энергии за 2003 и 2004 гг. вытекает, что число коровых землетрясений уменьшилось в 1.1 раза ($N_{\Sigma}=662$ вместо 732), но их суммарная энергия возросла в два раза ($\Sigma E=0.4422 \cdot 10^{15}$ Дж вместо $0.2182 \cdot 10^{15}$ Дж).

Число глубоких землетрясений почти не изменилось ($N_{\Sigma}=1197$ вместо $N_{\Sigma}=1223$), но уровень сейсмической энергии возрос почти на 2.5 порядка.

Таблица 1а. Числа коровых ($h=0-69$ км) землетрясений Таджикистана разных классов K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE за 1993–2004 гг.

Год	K_p										N_{Σ}	ΣE , 10^{15} Дж
	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1993		426	111	45	13	5					600	0.070
1994		286	110	54	17	5					472	0.071
1995		320	107	33	15	5					480	0.06
1996		178	116	53	9	2	1				359	0.2795
1997	51	474	163	46	17	2					702*	0.0444
1998	121	872	356	173	44	6	1	1	1		1454*	11.1797
1999	31	349	192	71	24	7					643*	0.0267
2000		449	169	51	13	3	1				686	0.151
2001		392	148	58	16	4	1				619	0.1129
2002		326	391	159	29	8	4				917	0.5654
2003		442	180	78	24	7	1				732	0.2182
Сумма		4514	2043	821	221	54	9	1	1		7664	12.7788
Среднее за 11 лет		410.4	185.7	74.6	20.1	4.9	0.8	0.1	0.1		696.7	1.162
2004		383	179	77	19	6	1				665	0.4422

Примечание. Здесь и в табл. 1б знаком * отмечены N_{Σ} без 8-го класса.

Таблица 1б. Числа глубоких ($h=70-300$ км) землетрясений Таджикистана разных классов K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE за 1993–2004 гг.

Год	K_p									N_Σ	$\Sigma E,$ 10^{15} Дж
	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1993		1180	250	76	21	9	3	1	1	1541	11.410
1994		723	244	74	17	9	2	1		1070	1.310
1995		819	195	61	15	9	3	1		1103	1.380
1996		236	238	73	19	3	2			571	0.219
1997	67	967	458	140	12	9		2		1588*	2.123
1998	8	816	383	152	28	3	3	1		1386*	2.834
1999	10	644	332	110	19	3	1	1		1110*	1.164
2000		659	358	112	11	2	2	1		1145	1.246
2001		471	394	117	23	5	1	1		1012	0.9237
2002		244	600	132	21	4	1		1	1003	25.4070
2003		699	411	93	16	4				1223	0.0584
Сумма		7458	3863	1140	202	60	18	9	2	12752	48.0751
Среднее за 11 лет		678.0	351.2	103.6	18.4	5.4	1.6	0.8	0.2	1159.3	4.3705
2004		673	400	101	17	5	1		1	1198	8.358

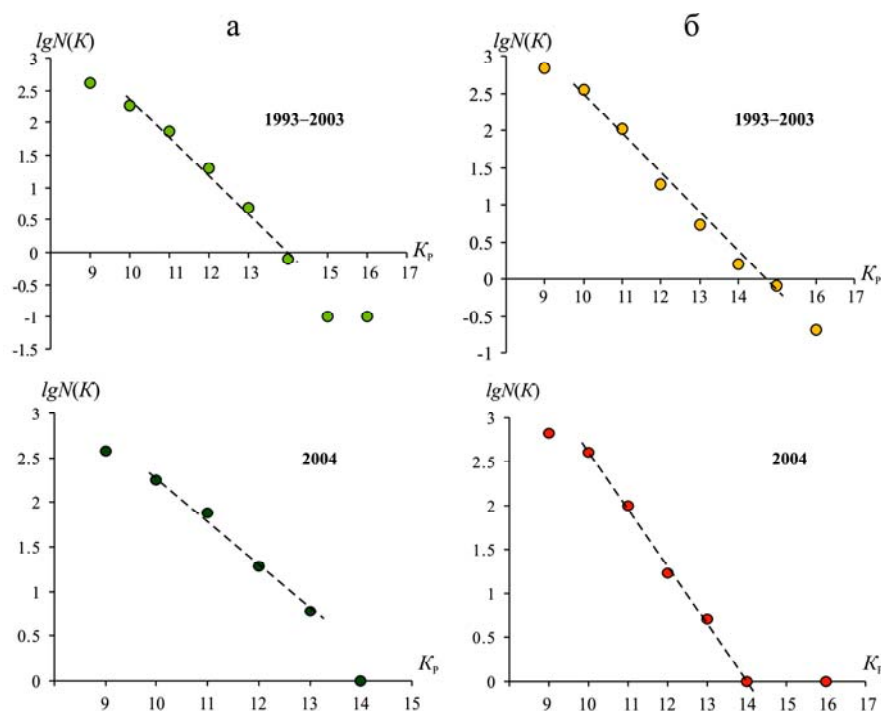


Рис. 5. Графики повторяемости коровых (а) и глубоких (б) землетрясений Таджикистана

Графики повторяемости на рис. 5 представлены отдельно для коровых и глубоких землетрясений в двух вариантах – долговременном за 1993–2003 гг. и за 2004 г. Уравнения графиков повторяемости, рассчитанные методом ортогональной регрессии, имеют вид:

$$h < 70 \text{ км: } \lg N_{(10-14)} = 8.33 - 0.59 K_p, \sigma_\alpha = \pm 0.49, \sigma_\gamma = \pm 0.04, 1993-2003 \text{ гг.}$$

$$\lg N_{(10-13)} = 7.34 - 0.50 K_p, \sigma_\alpha = \pm 0.37, \sigma_\gamma = \pm 0.03, 2004 \text{ г.}$$

$$h \geq 70 \text{ км: } \lg N_{(10-15)} = 7.98 - 0.54 K_p, \sigma_\alpha = \pm 0.39, \sigma_\gamma = \pm 0.03, 1993-2003 \text{ гг.}$$

$$\lg N_{(10-14)} = 9.12 - 0.65 K_p, \sigma_\alpha = \pm 0.21, \sigma_\gamma = \pm 0.02, 2004 \text{ г.}$$

при коэффициентах корреляции $r=0.993-0.998$. Из графиков со всей очевидностью следует, что в 2004 г. землетрясения 9-го класса не представительны ни для коровых, ни для глубоких землетрясений.

Максимальный энергетический класс в 2004 г. составил $K_p=15.9$, и выделившаяся в его очаге энергия соответственно равна $7.943 \cdot 10^{15}$ Дж. Землетрясение произошло 5 апреля в 21^h24^m с $h_{pp}=185$ км в южном направлении вне границ Таджикистана, в «ядре» Гиндукуша. Согласно [15], в Кабуле погибли два человека и двое ранены в Пакистане. Землетрясение ощущалось в Дели и Гурагоне, Индия; Сринагаре, Исламабаде, Лахоре, Пакистан. В Душанбе (300 км) интенсивность сотрясений составила 4–5 баллов [20]. По данным [21], оно ощущалось и в ряде городов на территории Узбекистана: Термез 3–4 балла; Ташкент, Андижан, Фергана, Наманган 2–3 балла. Для этого землетрясения получено решение механизма очага в Гарвардском центре США по методу тензора момента центраида и в NEIC – Национальном центре информации о землетрясениях США [15]. Решения очень близки [23], поэтому рассмотрим лишь решение HRVD. Землетрясение возникло под превалирующим действием сжимающих напряжений ($PL_p=24^\circ$, $PL_t=57^\circ$), направленных практически на юг ($AZM_p=164^\circ$). Плоскость $NP1$ – пологая ($DP_1=28^\circ$) и ориентирована на запад–северо-запад ($STK=290^\circ$). Движение по ней – правосторонний сдвиг с компонентами надвига. Плоскость $NP2$ – близвертикальна ($DP_1=72^\circ$) и ориентирована на восток–северо-восток ($STK=58^\circ$). Движение по ней – взброс с компонентами левостороннего сдвига.

Карта эпицентров всех землетрясений изображена на рис. 6. Сравнение с аналогичной картой за 2003 г. из [1] показывает целый ряд отличительных особенностей сейсмического процесса в 2004 г. в каждом из четырех районов.

Прежде всего, это касается Севера Таджикистана, где вблизи станции «Офтобруй», в южном окончании Северо-Ферганского разлома, 27 марта в 00^h43^m произошло редкое для этой части разлома землетрясение с $K_p=13.0$, подкрепленное в тот же день (в 04^h18^m) вторым толчком с $K_p=11.8$. Суммарная энергия этой группы составила $1.06 \cdot 10^{13}$ Дж.

Большой, нежели в 2003 г., сейсмической активностью, как по числу землетрясений, так и по величине высвобожденной в их очагах энергии в 2004 г. характеризуется зона сближения Гиссаро-Кокшаальского и Дарваз-Каракульского разлома на границе с Кыргызстаном, где произошло упомянутое выше Карамыкское землетрясение с серией афтершоков. Заметно активнее протекал процесс и в Гармской и Кулябской областях Таджикистана.

В зоне глубокофокусных очагов весьма заметно повышение числа землетрясений в пределах Мургабской подзоны. Хорогская подзона в 2004 г. выглядит на карте более компактной, чем в 2003 г. От активного ядра всей Гиндукушской зоны, целиком расположенного на территории Афганистана, она отделена асейсмичной перемышкой.

Распределение чисел землетрясений разных классов и суммарной энергии по крупным сейсмоактивным зонам за 2004 г. дано в табл. 2.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE по зонам I–IV за 2004 г.

№	Зона	K_p							N_Σ	ΣE , Дж
		9	10	11	12	13	14	16		
I	Юго-Западный Тянь-Шань	33	6	6	2	1			48	$1.335 \cdot 10^{13}$
II	Южный Тянь-Шань	197	72	30	4	3	1		307	$3.407 \cdot 10^{14}$
III	Памиро-Гиндукуш (коровые)	154	100	42	13	2			311	$8.519 \cdot 10^{13}$
IV	Памиро-Гиндукуш (глубокие)	667	404	101	18	5	1	1	1197	$8.357 \cdot 10^{15}$
	Всего	1051	582	179	37	11	2	1	1863	$8.799 \cdot 10^{15}$

Рассмотрим более детально сейсмичность каждой из четырех зон.

Сейсмическая активность зоны **Юго-Западного Тянь-Шаня (I)** по числу землетрясений почти не изменилась (в 2003 г. – $N_\Sigma=44$, в 2004 г. – $N_\Sigma=48$), но суммарная энергия уменьшилась в три раза (с $\Sigma E=0.0403 \cdot 10^{15}$ Дж до $\Sigma E=0.0133 \cdot 10^{15}$ Дж).

Максимальным ($K_p=13.0$) было землетрясение 27 марта в 00^h43^m в 25 км от Ура-Тюбе, где интенсивность сотрясений от него составила 5 баллов. Интенсивность сотрясений 4–5 баллов отмечена в Исфаре (32 км), Сулюкте (32 км) и в Худжанде (Ленинабаде) (55 км); 4 балла – в Ташкенте; 3 балла – в Бекабаде, Нуреке (162 км); 2–3 балла – в Душанбе (170 км); 2 балла – в

Самарканде. Последовавший за ним в 04^h18^m афтершок с $K_p=11.8$ был также ощутимым (в Худжанде (Ленинабаде) (55 км) – 2–3 балла, в Душанбе – 2 балла) [20].

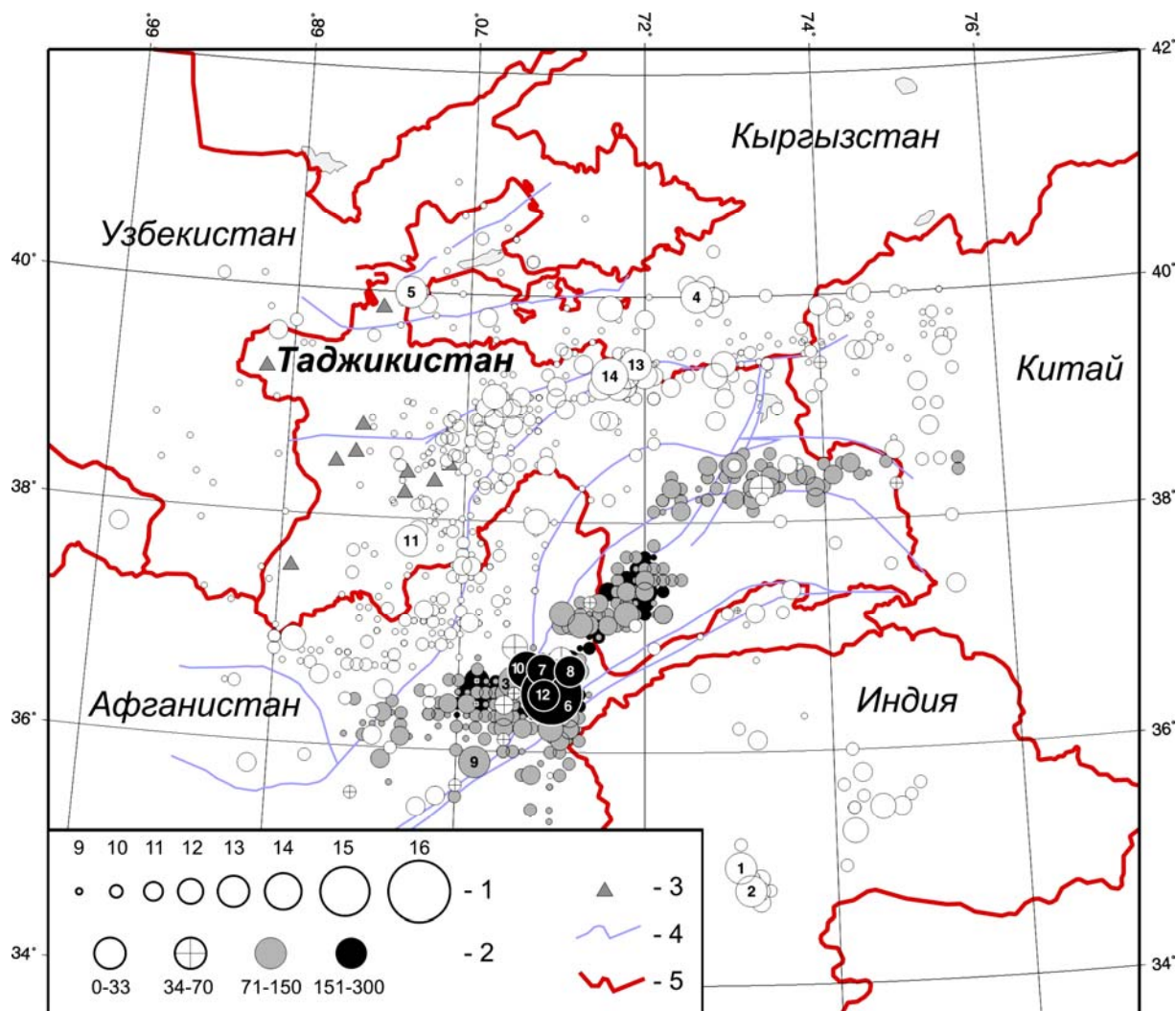


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений Таджикистана за 2004 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – разлом; 5 – государственная граница.

Для этих двух землетрясений имеются решения механизмов очагов, полученные в Гарварде и Бишкеке для 1-го, а для 2-го – одно решение из Бишкека. Для более сильного землетрясения в 00^h43^m по решению из [24] в очаге произошел чистый взброс по близвертикальной ($DP=79^\circ$) плоскости $NP2$ и чистый надвиг по пологой ($DP=11^\circ$) плоскости $NP1$. По решению Гарварда типы движений сохранились, но с компонентами сдвига, правостороннего по крутой ($DP=68^\circ$) плоскости $NP2$ и левостороннего – по более пологой ($DP=26^\circ$) плоскости $NP1$ (рис. 7, [23]). В очаге афтершока в 04^h18^m обе плоскости крутые ($DP_2=42^\circ$, $DP_1=73^\circ$) и подвижки по ним типа взброс, но с компонентами правостороннего сдвига по $NP2$ и левостороннего – по $NP1$.

Механизм очага известен еще для четырех более слабых землетрясений зоны I, зарегистрированных 17 июня в 15^h09^m с $K_p=10.6$, 26 августа в 03^h45^m с $K_p=9.5$, 3 ноября в 20^h02^m с $K_p=10.3$ и 14 ноября в 03^h44^m с $K_p=9.2$ [24]. В очагах двух из них (17 июня и 3 ноября) реализовались сбросовые подвижки по обеим плоскостям, что весьма необычно для этой территории. В очагах других двух землетрясений имеют место сдвиги (рис. 7), обусловленные близкими по величине напряжениями сжатия и растяжения ($PL_T=14^\circ$, $PL_P=11^\circ$ для 26 августа; $PL_T=42^\circ$, $PL_P=42^\circ$ для 14 ноября [23]).

В 2004 г. на территории Душанбино-Вахшского района в зоне (II), в пределах 37.80–39.35°N и 68.00–70.50°E, зарегистрировано 134 землетрясения с $K_p \geq 8.6$ с суммарной энергией $\Sigma E = 6.324 \cdot 10^{12}$ Дж. Максимальное землетрясение с $K_p = 12.6$ отмечено 5 октября в 18^h45^m в Кулябской области. Макросейсмические данные в эпицентральной области, к сожалению, не были собраны, но в Душанбе (102 км) оно ощущалось с интенсивностью 2–3 балла. С такой же интенсивностью ощущались в Душанбе еще четыре землетрясения Душанбино-Вахшского района, зарегистрированные 30 января в 09^h46^m с $K_p = 8.9$ на расстоянии 13 км, 17 февраля в 18^h57^m с $K_p = 9.6$ и $\Delta = 40$ км, 4 мая в 01^h50^m с $K_p = 10.3$ и $\Delta = 43$ км, 9 сентября в 20^h04^m с $K_p = 11.3$ и $\Delta = 95$ км. Четыре ощутимых землетрясения локализованы 26 июля в 06^h16^m, 18^h41^m, 18^h48^m, 18^h59^m вблизи Рогунской ГЭС ($\Delta = 5$ км, $I = 2-3$ балла; $\Delta = 7, 8, 5$ км с одинаковой интенсивностью $I = 4$ балла) и одно – 21 июля в 07^h15^m вблизи Байпазинской ГЭС ($\Delta = 20$ км, $I = 3$ балла) [20].

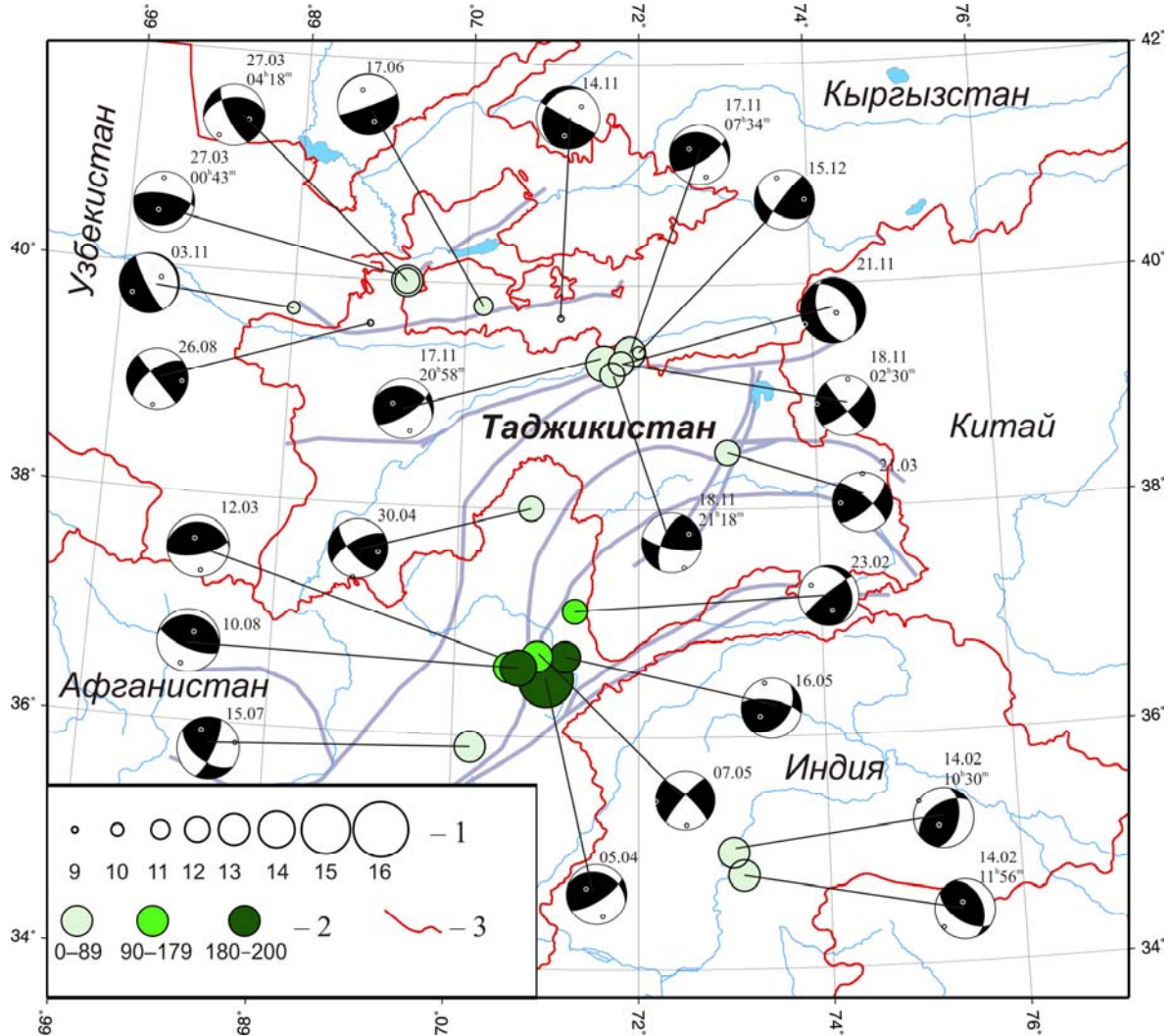


Рис. 7. Стереогаммы механизмов очагов землетрясений Таджикистана и прилегающих районов за 2004 г., описываемых в наст. ст.

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

На остальной части зоны Южного Тянь-Шаня (II) наибольший интерес представляет серия землетрясений в ноябре 2004 г. непосредственно на границе Таджикистана с Кыргызстаном с главным толчком, произошедшим 17 ноября в 20^h58^m с $K_p = 14.5$ и $M_w = 5.8$, форшоками и афтершоками ([16]).

График спада числа афтершоков во времени изображен на рис. 8, из которого видна небольшая продолжительность этой серии последующих толчков.

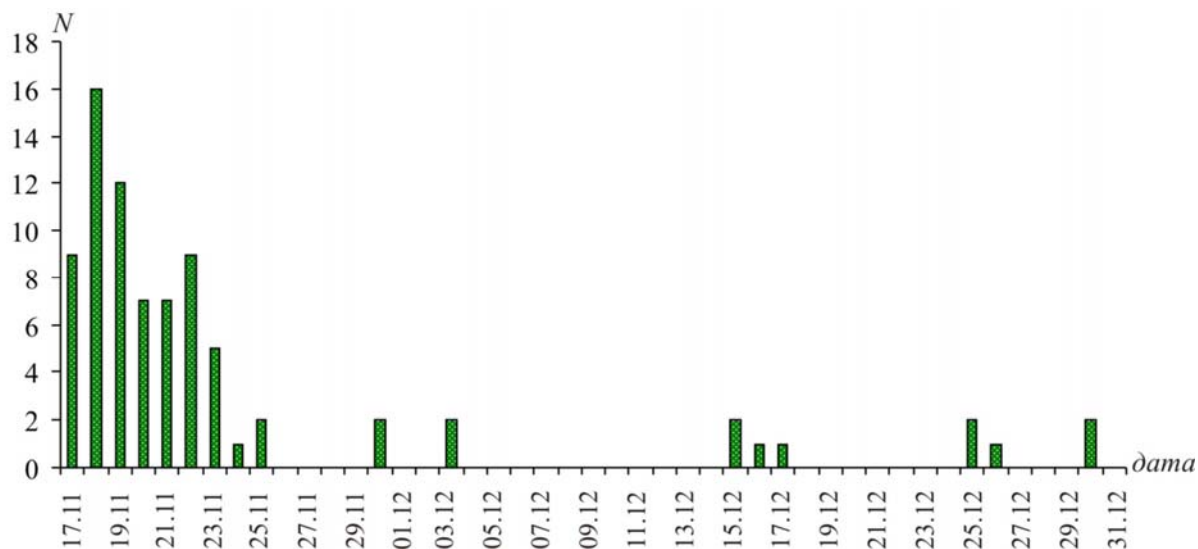


Рис. 8. Затухание во времени серии афтершоков Карамыкского землетрясения на границе Таджикистана с Кыргызстаном

Согласно [22], сильный ($K_p=13.0$) форшок ощущался с интенсивностью 2 балла в Андижане и Намангане, а главный толчок – с интенсивностью 2–3 балла в Ташкенте и 2 балла – в Намангане. В ближнем пункте Карамык (25 км) интенсивность сотрясений составила 4–5 баллов [17], на расстоянии 255 км в Душанбе – $I=3$ балла [14]. Разница в уровнях энергии для этого землетрясения с наибольшими форшоком и афтершоком равна:

$$\Delta K_{\phi} = 14.5 - 13.0 = 1.5,$$

$$\Delta K_a = 14.5 - 12.5 = 2.0.$$

Решения механизма очага известны [23] для наибольшего форшока, главного толчка и трех афтершоков с $K_p > 12$ (рис. 7). Механизмы форшока и главного толчка сходны: произошли они в условиях близгоризонтальных и близких по величине напряжений сжатия и растяжения. Обе пары нодальных плоскостей крутые ($DP > 83^\circ$). Плоскости $NP1$ – близмеридиональны ($STK_1=195$ и 185° соответственно), плоскости $NP2$ – близширотны ($STK_2=104$ и 275° соответственно). Подвижки – чистый сдвиг, левосторонний по $NP1$ и правосторонний по $NP2$ в очаге главного толчка и сдвиг со взбросом в очаге максимального форшока. Для четырех афтершоков картина сложнее. В очагах трех из них (18 ноября в 02^{h30}^m с $K_p=12.5$ и в 21^{h18}^m с $K_p=12.2$, 15 декабря в 23^{h02}^m с $K_p=10.2$) сдвиговые подвижки в качестве основных сохранились, но для двух из них (18 ноября в 21^{h18}^m и 15 декабря) они осложнены компонентами взброса, а для третьего (18 ноября в 0230) – компонентами сброса. И совсем необычный в этой серии механизм очага афтершока 21 ноября в 20^{h45}^m с $K_p=12.3$ – сбросовое движение по обоим плоскостям, а сдвиги лишь в виде компонент, правосторонние по $NP1$ и левосторонние – по $NP2$. Все решения получены в Гарварде [15], за исключением самого позднего афтершока 15 декабря, решение для которого получено в Бишкеке [24].

Представляет интерес еще одно землетрясение с $K_p=11.9$ в зоне II, зарегистрированное 26 мая в 13^{h27}^m и локализованное вблизи Гарма (10 км), вызвавшее на его территории колебания с $I=4-5$ баллов. В Душанбе (145 км) его воздействие не превысило 2 баллов.

В Памиро-Гиндукушской зоне (III) коровых ($h=0-69$ км) землетрясений продолжилось уменьшение уровня сейсмичности относительно такового в 2002 и 2003 гг. и по числу землетрясений ($N_{\Sigma}=641$ [25], 368 [1], 311 (табл. 2)), и по высвобожденной сейсмической энергии ($\Sigma E=0.5424 \cdot 10^{15}$ Дж [25], $0.1480 \cdot 10^{15}$ Дж [1], $0.0852 \cdot 10^{15}$ Дж (табл. 2)).

Самыми сильными землетрясениями по этому району в каталоге [20] значатся землетрясения (1 и 2 на рис. 6), произошедшие в один день 14 февраля в 10^{h30}^m с $K_p=13.5$ и в 11^{h56}^m с

$K_p=13.3$ вне южных границ Таджикистана. Согласно [15], совокупное действие обоих толчков лишило жизни 24 человека, из которых 14 оказались погребенными под оползнями, около 40 человек ранены. Свыше 1420 зданий разрушены до основания, 5379 зданий повреждены частично, многие дороги разрушены или перекрыты оползнями. В Маншере повреждены около 20% колодцев. Электрические и телефонные кабели разрушены в Сринагаре, Кашмире. Ощущалось также в Гулмарге, Кашмире (Индия) и Кабуле (Афганистан).

Решения механизма их очагов по данным Гарварда приведены в сводном каталоге механизмов очагов Таджикистана [23]. Типы подвижек в обоих очагах похожи и представлены взбросами, которые, как правило, приводят к значительным разрушениям. Но ориентированы нодальные плоскости по-разному, они как бы развернулись примерно на $30-40^\circ$ против часовой стрелки (рис. 7). Взбросы в обоих очагах осложнены компонентами сдвига, левостороннего – по $NP1$ и правостороннего – по $NP2$ для землетрясения в 10^h30^m и, наоборот, для 11^h56^m правостороннего – по $NP1$ и левостороннего – по $NP2$.

Ощутимыми в Душанбе с $I=2, 2-3$ балла были землетрясения 30 января в 13^h25^m с $K_p=12.2$, 30 апреля в 14^h11^m с $K_p=12.1$ и 16 октября в 18^h13^m с $K_p=12.2$ [20]. Особый интерес представляет второе из них, произошедшее в стабильно асейсмичной области в пределах большой излучины р. Пяндж. Подвижка в его очаге типа сдвиг по крутым плоскостям ($DP_1=67^\circ, DP_2=69^\circ$), с небольшими компонентами взброса.

В **Памиро-Гиндукушской зоне (IV)** глубокофокусных землетрясений локализовано 1197 землетрясений с $K_p \geq 9$ на глубинах $h=70-250$ км (табл. 2), что лишь на шесть событий меньше, чем в 2003 г. ($N_\Sigma=1223$ [1]). Однако суммарная энергия, выделившаяся в очагах глубоких землетрясений ($\Sigma E=8.357 \cdot 10^{15}$ Дж) почти в 143 раза превысила таковую в 2003 г. ($\Sigma E=0.0584 \cdot 10^{15}$ Дж). При этом только в одном очаге описанного выше максимального ($K_p=15.9$) землетрясения 2004 г., зарегистрированного 5 апреля в 21^h24^m , выделившаяся энергия в $7.94 \cdot 10^{15}$ Дж составляет 95% от всей энергии глубоких землетрясений зоны IV или 90% от суммарной энергии во всех четырех зонах. Пространственное распределение глубокофокусных землетрясений представлено на рис. 6.

Основная часть этих землетрясений располагалась за пределами республики на территории Афганистана. Традиционно **Памиро-Гиндукушская зона (IV)** подразделяется по плотности эпицентров на три подзоны: Афганскую, Хорогскую и Мургабскую [26]. Конкретные линии деления на подзоны указаны в [27]: $\varphi \leq 36.9^\circ N$ – для Афганской подзоны, $36.9 < \varphi \leq 37.9^\circ N$ – для Хорогской и $38.0 < \varphi \leq 38.8^\circ N$ – для Мургабской. Такое деление целесообразно, так как они характеризуются разным видом распределения землетрясений по глубине [27].

Землетрясения с $K_p \geq 9$ по подзонам распределились следующим образом (табл. 3).

Таблица 3. Распределение глубоких землетрясений в зоне IV по трем подзонам

Зона	Подзона	K_p							N_Σ	$\Sigma E,$ Дж
		9	10	11	12	13	14	16		
	Афганская	604	288	70	12	5	1	1	981	$8.345 \cdot 10^{15}$
	Хорогская	50	81	16	4				151	$8.028 \cdot 10^{12}$
	Мургабская	14	35	15	2				66	$4.513 \cdot 10^{12}$
IV	Памиро-Гиндукуш (глубокие)	668	404	101	18	5	1	1	1198	$8.357 \cdot 10^{15}$

Как всегда большинство глубокофокусных землетрясений (980 из 1198) произошло в Афганской подзоне Гиндукуша. Максимальный по энергии толчок в 2004 г. с $K_p=15.9$ описан выше. Рассмотрим другие заметные землетрясения в этой подзоне на уровне $K_p \geq 12.6$. Таких землетрясений реализовалось шесть: 12 марта в 22^h45^m с $K_p=13.5, h=140$ км; 7 мая в 06^h52^m с $K_p=12.9, h=160$ км; 16 мая в 22^h06^m с $K_p=13.0, h=200$ км; 15 июля в 08^h18^m с $K_p=12.6, h=80$ км; 10 августа в 01^h47^m с $K_p=14.5, h=190$ км; 15 ноября в 11^h40^m с $K_p=12.7, h=180$ км.

Для всех, кроме последнего, есть решения механизмов очагов [23]. В очаге землетрясения 12 марта на глубине $h=140$ км преобладали напряжения сжатия ($PL_p=22^\circ, PL_T=67^\circ$). Плос-

кость $NP1$ широтного простирания – пологая ($DP_1=23^\circ$), по ней произошел надвиг с компонентами правостороннего сдвига. Плоскость $NP2$ также близширотна, но крутая ($DP_2=68^\circ$). Подвижка по ней – взброс, с компонентами левостороннего сдвига. В очаге землетрясения 7 мая на глубине $h=160$ км наоборот преобладали напряжения растяжения, хотя и незначительно ($PL_T=1^\circ$, $PL_P=16^\circ$). Обе нодальные плоскости крутые: $DP_1=78^\circ$, $DP_2=80^\circ$. Плоскость $NP1$ северо-западного простирания, а плоскость $NP2$ – юго-западного. Типы подвижек по обеим плоскостям – сдвиги, с незначительными сбросовыми компонентами. В очаге землетрясения 16 мая на глубине $h=200$ км подвижки произошли под действием преобладающих напряжений сжатия: $PL_P=15^\circ$, $PL_T=52^\circ$. Тип подвижки по более пологой ($DP_1=42^\circ$) плоскости $NP1$ север–северо-восточного простирания – левосторонний сдвиг с элементами взброса. По крутой ($DP_2=68^\circ$) плоскости $NP2$ близширотного простирания реализовался взброс, с компонентами правостороннего сдвига. В очаге землетрясения 15 июля на глубине $h=80$ км подвижки произошли под действием преобладающих напряжений сжатия: $PL_P=13^\circ$, $PL_T=37^\circ$. Тип подвижки по обеим плоскостям – сдвиг, с компонентами взброса. По плоскости $NP1$ восток–юго-восточного простирания сдвиги левосторонние, по $NP2$ – правосторонние. И, наконец, в очаге землетрясения 10 августа на глубине $h=190$ км подвижки произошли под действием преобладающих напряжений сжатия: $PL_P=25^\circ$, $PL_T=64^\circ$. По плоскости $NP1$ близширотного простирания реализовался надвиг с компонентами левостороннего сдвига, по $NP2$ восток–юго-восточного простирания – произошел взброс с компонентами правостороннего сдвига.

Девять землетрясений из Афганской подзоны, помимо максимального, были ощутимы в Душанбе: 22 февраля в 21^h08^m с $h=170$ км, $K_p=12.4$, $\Delta=270$ км, $I=2$ балла; 12 марта в 22^h45^m с $h=140$ км, $K_p=13.5$, $\Delta=270$ км, $I=3-4$ балла; 7 мая в 06^h52^m с $h=160$ км, $K_p=12.9$, $\Delta=280$ км, $I=2-3$ балла; 16 мая в 22^h06^m с $h=200$ км, $K_p=13.0$, $\Delta=305$ км, $I=3$ балла; 20 июня в 11^h50^m с $h=180$ км, $K_p=12.1$, $\Delta=280$ км, $I=2-3$ балла; 15 июля в 08^h18^m с $h=80$ км, $K_p=12.6$, $\Delta=320$ км, $I=2-3$ балла; 10 августа в 01^h47^m с $h=190$ км, $K_p=14.5$, $\Delta=275$ км, $I=4-5$ баллов; 6 октября в 05^h24^m с $h=180$ км, $K_p=12.4$, $\Delta=250$ км, $I=2$ балла;

Хорогская подзона характеризуется снижением в 1.5 раза уровня высвобожденной энергии по сравнению с 2003 г. [1]. Можно отметить здесь четыре землетрясения на уровне 12-го класса: 23 февраля в 15^h38^m с $K_p=12.5$, $h=140$ км; 31 марта в 10^h08^m с $K_p=11.6$, $h=90$ км; 14 мая в 22^h11^m с $K_p=11.9$, $h=80$ км; 10 ноября в 10^h44^m с $K_p=11.7$, $h=180$ км. Первое из них – максимальное по энергии. Оно ощущалось в Душанбе (270 км) с $I=2-3$ балла и для него в Гарварде [15] получено решение механизма очага, единственное в этой подзоне. Землетрясение возникло в условиях некоторого преобладания напряжений сжатия ($PL_P=33^\circ$, $PL_T=48^\circ$). Такое соотношение напряжений сжатия и растяжения вызвало по пологой ($DP=25^\circ$) плоскости $NP1$ север–северо-западного простирания левосторонний сдвиг с компонентами надвига, а по плоскости $NP2$ северо-восточного простирания – взброс, с компонентами правостороннего сдвига. Ощутимым в Душанбе (205 км) с $I=2$ балла было еще одно землетрясение этой подзоны, произошедшее 31 марта с $K_p=11.6$, $h=90$ км.

В **Мургабской подзоне** очаги располагаются на глубинах от 70 до 150 км. Общее число землетрясений составило $N_2=66$ с суммарной энергией $\Sigma E=4.513 \cdot 10^{12}$ Дж (табл. 3). Эта подзона имеет близширотное расположение (рис. 6) протяженностью свыше 300 км, шириной – не более 50 км. Землетрясения в этой зоне, как правило, слабые. Заметны лишь два землетрясения на уровне 12-го класса, произошедшие 21 марта в 10^h34^m с $K_p=12.3$, $h=80$ км и 5 октября в 03^h34^m с $K_p=12.0$, $h=70$ км, остальные – с меньшей энергией.

Первое из них по данным [21] ощутимо. Интенсивность вызванных им сотрясений составила 4 балла в Куваесе и 3 балла в Ташкенте и Фергане. В его очаге реализовались сдвиговые подвижки по обеим нодальным плоскостям: левосторонний сдвиг по плоскости $NP1$ северо-восточного простирания ($STK=47^\circ$) и правосторонний – по плоскости $NP2$ северо-западного простирания ($STK=310^\circ$), с присутствием компонентов взброса по обеим плоскостям [23].

В целом уровень сейсмичности зоны (IV) по величине высвобожденной энергии оказался в 2004 г. намного выше такового в 2003 г. ($\Sigma E=8.357 \cdot 10^{15}$ Дж вместо $\Sigma E=0.058 \cdot 10^{15}$ Дж), хотя число землетрясений, наоборот, чуть меньше.

Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 116–126.
2. Михайлова Р.С., Бибарсова Д.Г., Аранович З.И. Ахалбедашвили А.М., Джанузакоев К.Д., Яковлев В.Н., Михайлова Н.Н., Шакиржанова Г.Н., Рахимов А.Р., Матасова Л.М. Опыт оценки уровня K_{\min} представительных землетрясений отдельных районов и всего региона Средней Азии и Казахстана // Землетрясения Средней Азии и Казахстана в 1982 году. – Душанбе: Дониш, 1984. – С. 25–42.
3. 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.
4. Михайлова Р.С., Заславский Ю.Л., Килимник Е.А. Состав сейсмометрических наблюдений и основные параметры каналов регистрации сейсмических станций ТИССС. – Душанбе: Фонды ТИССС, 1988. – 1503 с.
5. Кулагин В.К. Строение земной коры Вахшского района Таджикской ССР по сейсмическим данным. Канд. диссерт. – Иркутск: Фонды Иркутского Гос. ун-та, 1970. – 150 с.
6. Кулагина М.В., Шакиржанова Г.Н., Рябовалова О.Т. Результаты опробования годографов для определения координат гипоцентров мелкофокусных землетрясений Таджикистана // Землетрясения Средней Азии и Казахстана в 1984 году. – Душанбе: Дониш, 1988. – С. 99–133.
7. Лукк А.А., Нерсесов И.Л. Глубокие Памиро-Гиндукушские землетрясения // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М.: Наука, 1970. – С. 118–136.
8. Введенская Н.А. О точности определения очага землетрясений методом засечек // Тр. ГЕОФИ АН СССР, №30(157). – М.: АН СССР, 1955. – С. 127–136.
9. Атлас землетрясений в СССР. – М.: АН СССР, 1962. – 338 с.
10. Мирзоев К.М., Баринаева А.Я., Голубятников В.Л., Шакиржанова Г.Н., Михайлова Р.С., Джанузакоев К.Д., Садиков Ф.С., Михайлова Н.Н. Сейсмическая обстановка в Средней Азии и Казахстане в 1979 г. // Землетрясения Средней Азии и Казахстана в 1979 году. – Душанбе: Дониш, 1981. – С. 7–37.
11. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
12. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
13. Каток А.П. Об использовании номограммы Раутиан для энергетической классификации глубоких Памиро-Гиндукушских землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 139–143.
14. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Давлятова Р., Улубиев А.Н., Хусейнова Г.А. Каталог (оригинал) землетрясений Таджикистана за 2004 год с $K_p \geq 8.6$. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2009. – 34 с.
15. Bulletin of the International Seismological Centre for 2005. – Berkshire: ISC, 2007–2008.
16. Михайлова Р.С. Форшоки и афтершоки Карамыкского землетрясения 17 ноября 2004 г. с $M_w=5.8$, $K_p=14.5$, $I_0=5$ (Таджикистан). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
17. Джанузакоев К.Д. (отв. сост. по региону), Соколова Н.П. (Кыргызстан), Калмыкова Н.А. (Казахстан), Холикова М.М. (Узбекистан), Сопиева К., Шукурова Р.Б., Шипулина С.А., Умурзакова Р.А., Проскурина Л.П., Ульянина И.А., Гайшук Л.Н., Тулегенова М.К., Джалилова С.С. Каталог землетрясений Центральной Азии за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
18. Закиров М.С. (отв. сост.), Соколов М.В., Бахриддинов С., Халикова М.А., Гиясова Ш.Ш. Каталог землетрясений Узбекистана за 2001–2005 гг. – Ташкент: АН РУ, КЭИС, 2006. – С. 37–43.
19. 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. Каталог землетрясений Копетдага за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
20. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Давлятова Р., Михайлова Р.С., Улубиев А.Н., Хусейнова Г.А. Каталог землетрясений Таджикистана за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
21. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2004 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2004–2005.

22. **Закиров М.С. (отв. сост.).** Ощутимые землетрясения в Узбекистане за 2003–2004 гг. Обнинск: Фонды ГС РАН, 2008. – 2 с.
23. **Михайлова Р.С. (сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Таджикистана за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
24. **Муралиев А.М. (отв. сост.), Молдыбаева М.Б., Полешко Н.Н., Каймачникова Н.И., Гиязова Ш.Ш., Садыкова Н.** Каталог механизмов очагов землетрясений Центральной Азии за 2004 год. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
25. **Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И.** Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии, 2002. – Обнинск: ГС РАН. 2008. – С. 153–167.
26. **Лукк А.А., Нерсесов И.Л. 1970.** Глубокие Памиро-Гиндукушские землетрясения // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М.: Наука, 1970. – С. 118–136.
27. **Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И.** Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 77–84.