

ТАДЖИКИСТАН

Т.Р. Улубиева, Р.С. Михайлова, Л.И. Рислинг

Система наблюдений в 1998 г., по сравнению с таковой в [1], несколько изменилась: нет больше очень нужной на юге республики станции «Куляб» и в табл. 1 не включена, по-прежнему, бездействующая станция «Гарм», так что общее число станций составило 18. Из них только шесть («Душанбе», «Джерино», «Гиссар», «Аккуйли», «Лангар» и «Гезан») работали непрерывно, остальные же имели перерывы в регистрации землетрясений из-за частых перебоев в электроснабжении или нестабильной политической обстановки в некоторых районах республики.

Таблица 1. Сейсмические станции Таджикистана (в порядке их открытия), работавшие в 1998 г., и их параметры

№	Станция		Дата		Координаты			Аппаратура			
	Название	Код	открытия	закрытия	φ°, N	λ°, E	h, m	Тип прибора	Компонента	V_{max}	$\Delta T_{max}, c$
1	Душанбе	Dsh Дшн	03.04.1940		38° 34'	68° 46'	815	СКМ СКМ КПЧ СК СК КПЧ СК КПЧ	N, E, Z N, E, Z Z Z Z	10000 400 1500 200	1.0–1.6 1.0–1.6 0.4–10 0.4–10
2	Джиргаталь, не работала 01.01.–20.02.1998 04.03.–10.04.1998 26.04.–25.05.1998 16.07.–08.10.1998 20.10.–20.12.1998	Dzt Джг	01.07.1950 01.07.1993 14.01.1995 10.07.1997 21.02.1998	06.02.1993 05.08.1994 02.03.1995 31.07.1997	39° 13'	71° 12'	1840	СКМ-3	N, E, Z	30000	0.2–1.1
3	Карасу, не работала 09.01.–01.02.1998 05.03.–31.12.1998	Kru Крс	01.01.1955 25.06.1997	26.03.1995	38° 28'	68° 59'	520	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.02–1.3
4	Гиссар	Gis Гис	03.05.1955		38° 28'	68° 33'	770	СКМ-3	N, E, Z	10000	0.02–1.3
5	Большуан, не работала 07.03.–20.10.1998	Bld Блд	01.01.1959 16.07.1997	01.03.1995	38° 18'	69° 40'	940	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.02–1.3
6	Лангар (Нурек)	Lna Лнг	21.02.1964 01.06.1997	21.01.1996	38° 24'	69° 21'	760	СКМ-3	N, E, Z	10000	0.02–1.3
7	Джерино	Dze Джр	07.06.1964		38° 48'	68° 50'	1200	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02–1.2
8	Богизагон, не работала 21.01.–31.01.1998 27.05.–09.06.1998 28.09.–18.10.1998	Bgg Бгз	25.11.64		38° 29'	69° 49'	1210	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02–1.3
9	Аккуйли	Akl Акл	12.06.1968		38° 27'	68° 37'	710	СМ-3	N, E, Z	15000	0.02–1.1
10	Ура-Тюбе, не работала 06.05–31.07.1998	Urt Урт	30.08.1970 01.10.1995	01.08.1995							

№	Станция		Дата		Координаты			Аппаратура			
	Название	Код	открытия	закрытия	φ°, N	λ°, E	h, m	Тип прибора	Компонента	V_{max}	$\Delta T_{max}, c$
11	Рогун, не работала 01.01.–03.02.1998 19.02.–08.08.1998 28.08.–28.09.1998 06.10.–25.11.1998	Rgn Ргн	11.10.1966 02.01.1974 01.08.1985	21.04.1968 31.07.1985	38° 43' 38° 41'	69° 47' 69° 43'	1000 1730	СМ-3	N, E, Z	5000	0.02–0.8
12	Игрон, не работала 11.03.–31.03.1998 11.04.–16.10.1998	Igr Игр	01.01.1975 26.09.1995	01.08.1995	38° 13'	69° 20'	1200	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02–1.0
13	Кангурт, не работала 01.02.–20.10.1998 01.11.–20.11.1998	Kng Кнг	28.04.1976 16.09.1997	30.04.1995 15.10.1997	38° 15'	69° 31'	520	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02–1.2
14	Гезан	Gzn Гзн	01.12.1980		39° 16'	67° 42'	1560	СКМ-3	N, E, Z	30000	0.02–1.2
15	Арджинак, не работала 01.01.–04.08.1998 01.10.–31.12.1998	Arg Арж	10.01.1983 02.11.1997 01.01.1998	24.01.1995	38° 44'	68° 36'	1400	СКМ-3	N, E, Z	25000	0.02–1.1
16	Ленинабад, не работала 30.04.–31.12.1998	Lnb Лнб	09.02.1983 08.01.1997	01.09.1996	40° 17'	69° 37'	350	СМ-3	N, E, Z	1000	0.02–1.0
17	Офтобруй, не работала 21.01.–31.01.1998 01.05.–10.08.1998 21.09.–31.10.1998 01.12.–31.12.1998	Oht Офт	14.07.1983 01.08.1995	21.01.1995	40° 10'	70° 40'	840	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.04–1.3
18	Султанабад, не работала 04.08.–30.09.1998	Slr Слт	14.01.1984		38° 26'	68° 55'	1150	СМ-3	N, E, Z	2000	0.2–0.9

Такая система наблюдений обеспечила представительную регистрацию землетрясений $K_p=10$ 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]).

Границы исследуемой территории, включающей Таджикистан и прилегающие районы Узбекистана, Кыргызстана, Афганистана и Китая, изображены на (рис. 1) вместе со схемой принятых в [3] крупных сейсмоактивных зон. Определение координат очагов землетрясений осуществлялось, по-прежнему, вручную. Для Душанбино-Вахшского района ($\varphi=37^\circ 50' - 39^\circ 00' N$, $\lambda=68^\circ 00' - 70^\circ 15' E$) использовались палетки изохрон с шагом по глубине 2.5 км, построенных на основе локального годографа [4]. На остальной части территории Таджикистана локализация коровых и глубоких землетрясений осуществлялась способом засечек. При определении координат очагов коровых землетрясений использовались осредненные годографы [5]. При этом глубина очага находилась с шагом 5 км при первых 10 км, а далее с шагом 10 км. Для определения координат глубокофокусных землетрясений ($h \geq 70$ км) применялся годограф [6] с шагом по глубине 10 км. Энергетическая классификация землетрясений проведена по номограмме Т.Г. Раутиан с использованием зависимости суммы максимальных амплитуд ($A_p + A_s$) от эпицентрального расстояния для землетрясений с очагом в земной коре [7, 8] и от гипоцентрального расстояния – для глубокофокусных землетрясений Памиро-Гиндукуша [9].

В результате сводной обработки для этой территории составлен каталог землетрясений за 1998 г. [10], который был дополнен (в ред.) некоторыми событиями из каталога землетрясений Центральной Азии [11] ($N=25$) и международных бюллетеней агентств MOS [12], ISC, ВЛ [13] ($N=14$). При этом необходимо было проверить согласованность в оценках величины землетрясения с использованием энергетических классов и магнитуд.

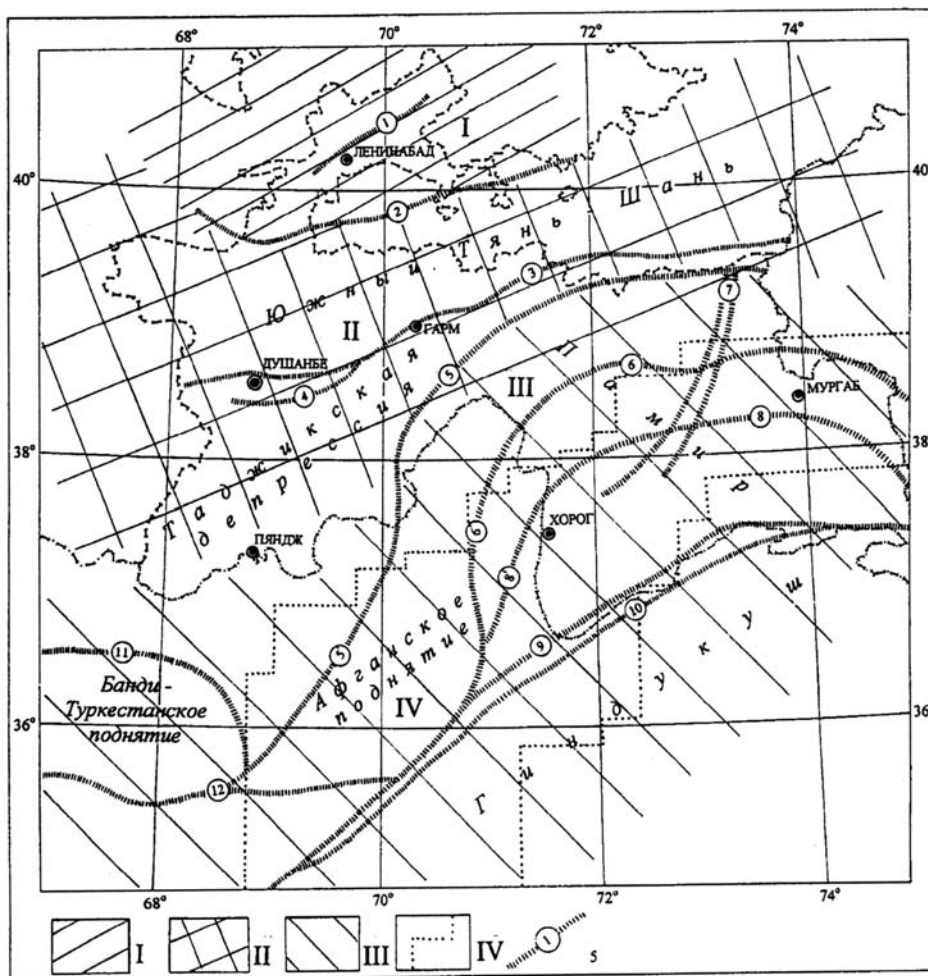


Рис. 1. Сейсмоактивные зоны Таджикистана и глубинные разломы

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 [14]: 1 – Северо-Ферганский; 2 – Заамин-Хайдараканский; 3 – Южно-Гиссарский; 4 – Илякско-Вахшский; 5 – Дарваз-Заалайский; 5 – Афгано-Северо-Памирский; 6 – Ванч-Акбайтальский; 7 – Каракульско-Сарезский; 8 – Бартанг-Пшартский; 8 – Рушано-Северо-Пшартский; 9, 10 – Афгано-Южно-Памирские; 11 – Альбурз-Мормульский; 12 – Андараб-Мирзавалангский.

С этой целью проведены выборки пар данных о землетрясениях с разным типом классификации, на их основе построены корреляционные поля и рассчитаны уравнения связи разнородных параметров, необходимых для перехода к энергетическим классам K_p по республиканским данным. Рассмотрим их последовательно, начиная с сопоставления однородного типа классификации – по энергетическим классам K_p , определенным независимо двумя группами станций – Таджикистана, с одной стороны, и Центральной Азии [15] – с другой.

Из сопоставления двух каталогов [10, 11] за 1998 г. выявлено, что число землетрясений, локализованных одновременно указанными сетями, составило 112. Информация об их энергетических классах представлена на рис. 2, 3 в обычном виде поля корреляции $K_{\text{tad}}=f(K_{\text{kir}})$ и в виде разностной функции – $K_{\text{tad}} - K_{\text{kir}}=f(K_{\text{kir}})$. Получены два уравнения:

$$K_{\text{tad}}=1.12+0.95K_{\text{kir}}, \quad (1)$$

$$K_{\text{tad}}-K_{\text{kir}}=1.12-0.05K_{\text{kir}}, \quad (2)$$

из которых следует наличие постоянной разности между классами, равной ~ 1.1 (рис. 2), практически одинаковой для слабых и сильных землетрясений (рис. 3). Причина завышения значений энергетических классов по записям станций Таджикистана пока не ясна, необходимы дополнительные исследования и консультации с заинтересованными организациями. Тем не менее полученный результат был учтен при отборе землетрясений Таджикистана в каталог сильных землетрясений Евразии [16].

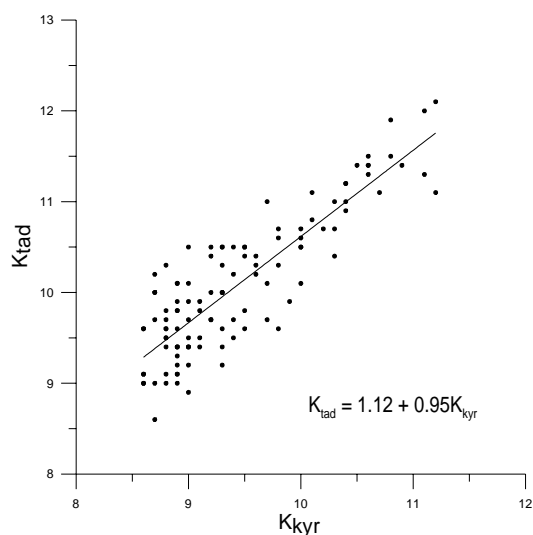


Рис. 2. График зависимости энергетических классов, определенных в Таджикистане ($K_{\text{тад}}$) и в Киргизии ($K_{\text{кыр}}$)

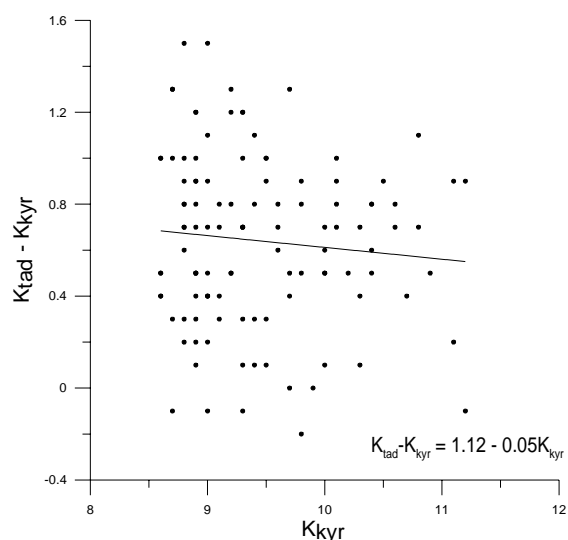


Рис. 3. Величина ступени ($K_{\text{тад}} - K_{\text{кыр}}$) при разных значениях $K_{\text{кыр}}$

Расчет значений K_p по m_b для землетрясений коровых ($h=0-69$ км) и глубоких ($h \geq 70$ км), добавленных из [13], проведен по уравнениям их связи, полученным ранее в [17] по материалам наблюдений за 1993–1996 гг.:

$$K_p = 3.31 + 1.89 m_b \quad \text{при } h < 70 \text{ км, (3)}$$

$$K_p = 1.57 + 2.31 m_b \quad \text{при } h \geq 70 \text{ км. (4)}$$

Несколько землетрясений из [13], включенных в итоговый Каталог землетрясений Таджикистана, были локализованы лишь сетью станций Китая (агентство ВЛ в [13]) и расклассифицированы по локальным магнитудам ML . Поиск уравнения связи $K_p = f(ML)$ был выполнен по совокупности всех землетрясений 1998 г., локализованных одновременно в Таджикистане и в Китае. Объем выборки составил 116 пар значений K_p и ML , представленных на рис. 4. Соответствующее этой выборке уравнение связи, рассчитанное методом ортогональной регрессии, имеет вид:

$$K_p = 6.32 + 1.18 ML. \quad (5)$$

Этот результат следует считать лишь первым приближением, требующим в дальнейшем уточнения на большем массиве данных.

Итоговый каталог [18] содержит сведения о 2969 землетрясениях, в основном с $K_p \geq 8.6$. Из них 1394 землетрясения – глубокофокусные с $h \geq 70$ км и 1575 – мелкофокусные с $h=0-69$ км. Распределение всех землетрясений по крупным сейсмоактивным зонам I–IV, показанным на рис. 1, дано в табл. 2. Величина высвободившейся сейсмической энергии в очагах всех землетрясений равна $\Sigma E = 14.0 \cdot 10^{15}$ Дж, что более чем в 6 раз превышает таковую в 1997 г. ($\Sigma E = 2.2 \cdot 10^{15}$ Дж [1]).

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE по зонам

№	Зона	K_p										N_Σ	$\Sigma E \cdot 10^{15}$, Дж
		8	9	10	11	12	13	14	15	16			
I	Юго-Западный Тянь-Шань	2	48	10	3							63	0.0006
II	Южный Тянь-Шань	9	174	68	25	7	1					284	0.0177
III	Памиро-Гиндукуш (коровые)	110	650	278	145	37	5	1	1	1		1228	11.1614
IV	Памиро-Гиндукуш (глубокие)	8	816	383	152	28	3	3	1			1394	2.8340
	Всего	129	1688	739	325	72	9	4	2	1		2969	14.0138

Распределение землетрясений по глубине представлено отдельно для очагов в земной коре на всей территории (табл. 3) и глубокофокусных – для Памиро-Гиндукуша (ниже, в табл. 6), из которых следует, что 91% коровых толчков имели глубины $h=0-10$ км, и 94% глубоких – $h=70-210$ км. Самое глубокое землетрясение с $h=270$ км произошло 13 февраля в 00^h40^m с $K_p=9.1$ в Хорогской подзоне IV-й зоны.

Таблица 3. Распределение числа коровых землетрясений по глубине их гипоцентров

h , км	з/к	0–5	6–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	0–60
$N(h)$	15	123	1313	49	54	11	4	6	1575
%	0.95	7.81	83.37	3.11	3.43	0.70	0.25	0.38	100%

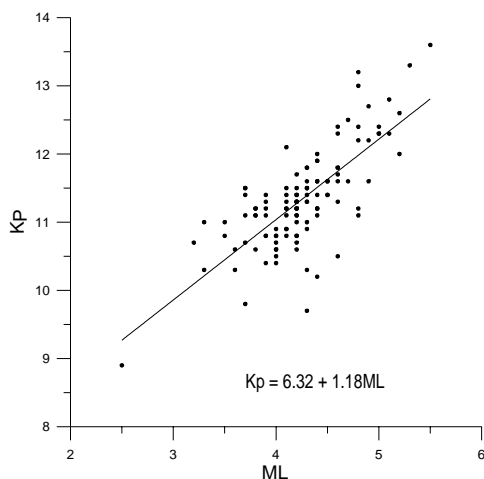


Рис. 4. График зависимости энергетического класса K_p от значений локальной магнитуды ML .

Наиболее значительные события в 1998 г. произошли в земной коре в зоне сближения восточной части Афганской депрессии и западных отрогов Гиндукуша. Здесь 4 февраля в 14^h33^m и 30 мая в 06^h22^m на территории Северного Афганистана, в 240 км юго-восточнее Душанбе, возникли сильные разрушительные землетрясения с $MS=5.9$ и 6.7 [12, 18] соответственно. Второе из них явилось самым разрушительным землетрясением Евразии в 1998 г. [19]. В его эпицентре интенсивность сотрясений достигала 8 баллов и выше, погибли почти 4000 человек, несколько тысяч ранены, многие в провинциях Бадахшан и Такхар Афганистана лишились жилья [13]. В приграничных районах Таджикистана (Пархар, Московский, Куляб) интенсивность колебаний достигла 5–6 баллов. Пятибалльные сотрясения ощущались в Курган-Тюбе, Душанбе, Кофарни-

хоне, Файзабаде, Рогуне, Нуреке и Муминабаде. Предваряющее землетрясение 4 февраля вызвало сейсмические колебания интенсивностью 4–5 баллов в пос. Шурабаде, 4 балла – в Кулябе и 2–3 балла – в Душанбе [18]. Сейсмичность исследуемой территории представлена на трех годовых картах эпицентров сильных землетрясений с $K_p \geq 11.6$ для всех глубин очагов $h=0-270$ км (рис. 5) и землетрясений с $K_p \geq 8.6$ коровых ($h=0-69$ км) (рис. 6) и глубоких ($h=70-270$ км) (рис. 7). Рассмотрим более детально сейсмичность каждой из четырех зон (рис. 1, 5–7).

На территории **Юго-Западного Тянь-Шаня (I)** (в Согдийской, ранее Ленинабадской, области) зарегистрировано 63 землетрясения с $K_p \geq 8.6$. Из них три наиболее сильных имели $K_p \geq 11$. Они произошли 27 июля в 03^h29^m ($K_p=10.9$), 20 октября в 20^h43^m ($K_p=11.4$), 18 декабря в 01^h25^m ($K_p=11.0$) [17] в зоне влияния Северо-Ферганского глубинного разлома. Сейсмическая активность этой зоны наименьшая (рис. 6).

Величина высвобожденной энергии в **зоне Южного Тянь-Шаня (II)**, по сравнению с таковой в 1997 г. [1], осталась на том же уровне, но при этом максимальный энергетический класс увеличился на порядок ($K_p \geq 13$). Землетрясение такой величины реализовалось 3 сентября в 13^h18^m в Дангаринском административном районе республики. Эпицентр его располагался юго-восточнее Нурекского водохранилища, в пределах юго-западного окончания Вахшского хребта, вблизи пос. Кули-Суфиён, поэтому землетрясение названо Кули-Суфиёнским. Землетрясение имело большое число афтершоков. Описанию этого землетрясения посвящена отдельная статья [20] в настоящем сборнике.

Число землетрясений с $K_p \geq 12$ уменьшилось (8 вместо 11). Четыре из них зарегистрированы в субширотной части Дарваз-Заалайского разлома: 24 апреля в 05^h05^m ($K_p=12.5$), 22 сентября в 01^h08^m ($K_p=11.9$), 17 октября в 01^h06^m ($K_p=12.1$) и 10 ноября в 14^h13^m ($K_p=12.0$) [18]. Первое из них было ощутимым с интенсивностью 3 балла в Душанбе (140 км) и Хорог (165 км).

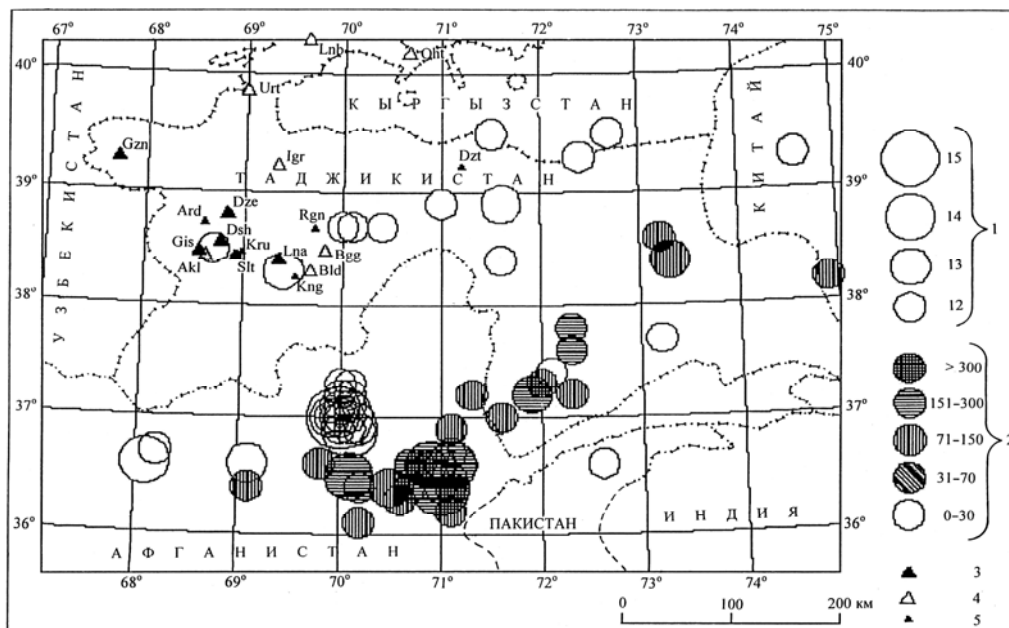


Рис. 5. Эпицентры сильных ($K_p \geq 11.6$) землетрясений Таджикистана за 1998 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3–5 – сейсмическая станция, работавшая в течение всего года, менее $\frac{3}{4}$ года и менее $\frac{1}{4}$ года соответственно.

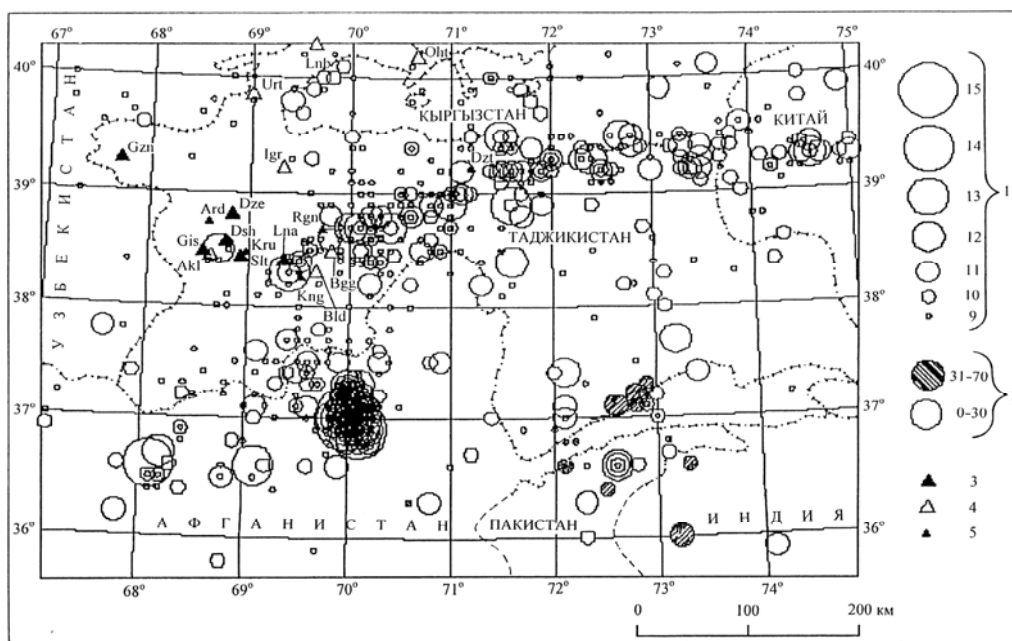


Рис. 6. Карта эпицентров коровых ($h \leq 69$ км) землетрясений Таджикистана за 1998 г.

1 – энергетический класс K_p ; 3–5 – сейсмическая станция, работавшая в течение всего года, менее $\frac{3}{4}$ года и менее $\frac{1}{4}$ года соответственно.

«Оживление» сейсмической активности наблюдалось на двух участках – на территории Душанбино-Вахшского и Гармского районов, где с 1955 г. [21–23] проводятся детальные сейсмические наблюдения. В Душанбино-Вахшском районе, помимо выше названного Кули-Суфиёнского землетрясения, отмечено еще два ощутимых толчка с $K_p=11.6$: 11 сентября в $05^h 53^m$ и 20 сентября в $07^h 12^m$. Первое из них ощущалось в Душанбе (105 км) с интенсивностью 3–4 балла. Второе, названное Чимтеппинским, произошло в зоне Илякско-Вахшского разлома в 20 км юго-западнее г. Душанбе. Оно было обследовано и описано в отдельной статье настоящего

сборника [24]. В Гармском районе возникли два землетрясения с $K_p \geq 11.7$: локализованы 11 сентября в 06^h44^m ($K_p=11.8$) и 9 ноября в 03^h47^m ($K_p=11.7$). Землетрясение 11 сентября ощущалось в Душанбе (120 км) с интенсивностью 3–4 балла.

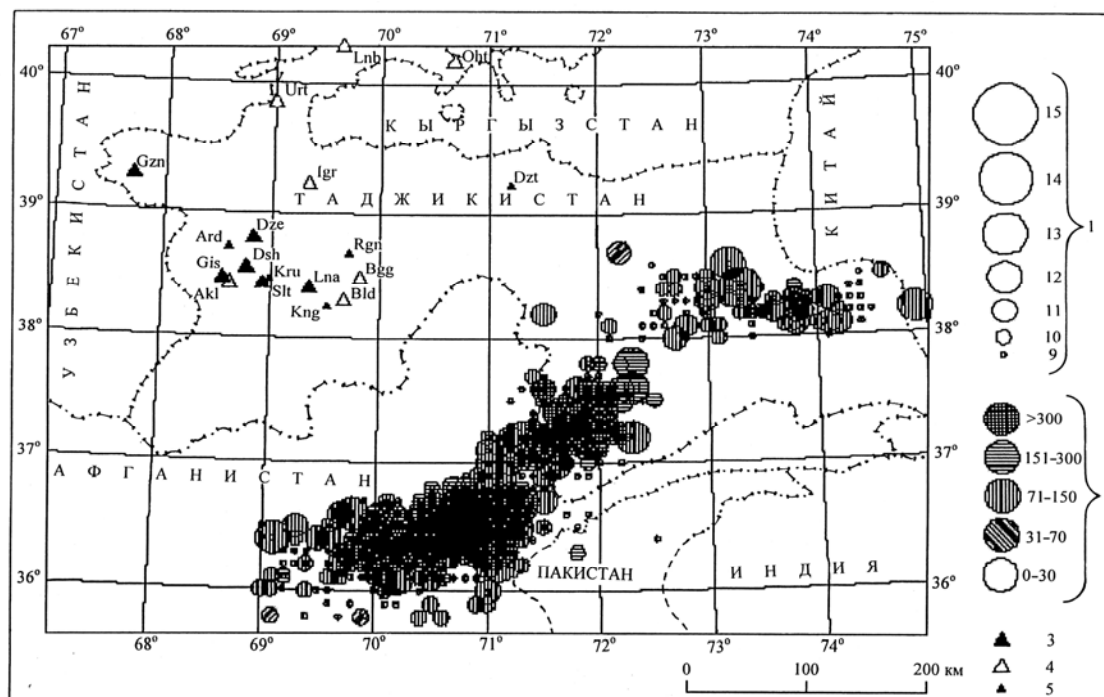


Рис. 7. Карта эпицентров глубоких ($h \geq 70$ км) землетрясений Таджикистана за 1998 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3–5 – сейсмическая станция, работавшая в течение всего года, менее $\frac{3}{4}$ года и менее $\frac{1}{4}$ года соответственно.

После относительного затишья активизировалась **Памиро-Гиндукушская зона (Ш) коровых землетрясений** (рис. 6) как по числу (1228 вместо 349), так и по выделившейся энергии ($11.16 \cdot 10^{15}$ Дж вместо $0.03 \cdot 10^{15}$ Дж) [1]. Активизация произошла в основном за счет вышеупомянутых землетрясений 4 февраля ($M=5.9$) и 30 мая ($M=6.7$) и сопровождающих их афтершоков. Гипоцентры этих землетрясений очень близки: $\varphi_1=36.9^\circ\text{N}$, $\lambda_1=70.1^\circ\text{E}$, $h_1=5$ км; $\varphi_2=37.0^\circ\text{N}$, $\lambda_2=70.0^\circ\text{E}$, $h_2=10$ км [18]. По-видимому, первый из них может являться очень сильным форшоком с достаточно большим временным интервалом (115 дней) до главного толчка, хотя не исключено, что эти два сильных толчка составляют группу. Энергетическая ступень в магнитудах составляет $\Delta M_\phi=0.8$ или, в пересчете к энергетическим классам по формуле Т.Г. Раутиан [25], $\Delta K_\phi=1.4$.

Этот форшок сопровождался серией из $N=103$ афтершоков, последние из которых реализовались 27–29 мая и 30 мая. Некоторые из них за 27–29 мая (28 мая в 15^h43^m [$\varphi=36.90^\circ\text{N}$, $\lambda=70.00^\circ\text{E}$] и в 15^h53^m [37.00°N , 70.10°E]; 29 мая в 01^h47^m [37.00°N , 70.10°E], 06^h09^m [37.00°N , 70.10°E] и в 09^h48^m [37.00°N , 70.00°E]) были локализованы вблизи эпицентра события 4 февраля, но есть и такие, которые были на расстоянии свыше 70 км от него (27 мая в 10^h39^m [37.10°N , 69.60°E], 28 мая в 03^h08^m [37.30°N , 69.30°E], и 29 мая в 17^h23^m [37.40°N , 69.60°E] [18]), мигрируя в северо-западном направлении ($AZM=312^\circ$) (рис. 8). Три форшока за 30 мая (в 03^h32^m [37.10°N , 70.00°E], 03^h51^m [37.00°N , 70.00°E], 03^h59^m [37.00°N , 70.10°E]) реализовались исключительно вблизи эпицентра будущего главного толчка с $M=6.7$, как бы прервав процесс расхождения и начиная процесс реализации главного разрыва. Все форшоки помечены в каталоге [18] буквой «ф». Наклон графика их повторяемости приближенно равен $\gamma_\phi=0.44$ (рис. 9). Приближенные размеры области форшоков $S=4200$ км². Однако, если исключить из рассмотрения одиночные удаленные форшоки, то область повышенной их плотности, изображенная на рис. 8 пунктиром, имеет меньшие размеры $S=1350$ км², что естественно. Интересно, что для области повышенной плотности форшоков совершенно меняется азимут ее продольной оси – с 312° на 8° .

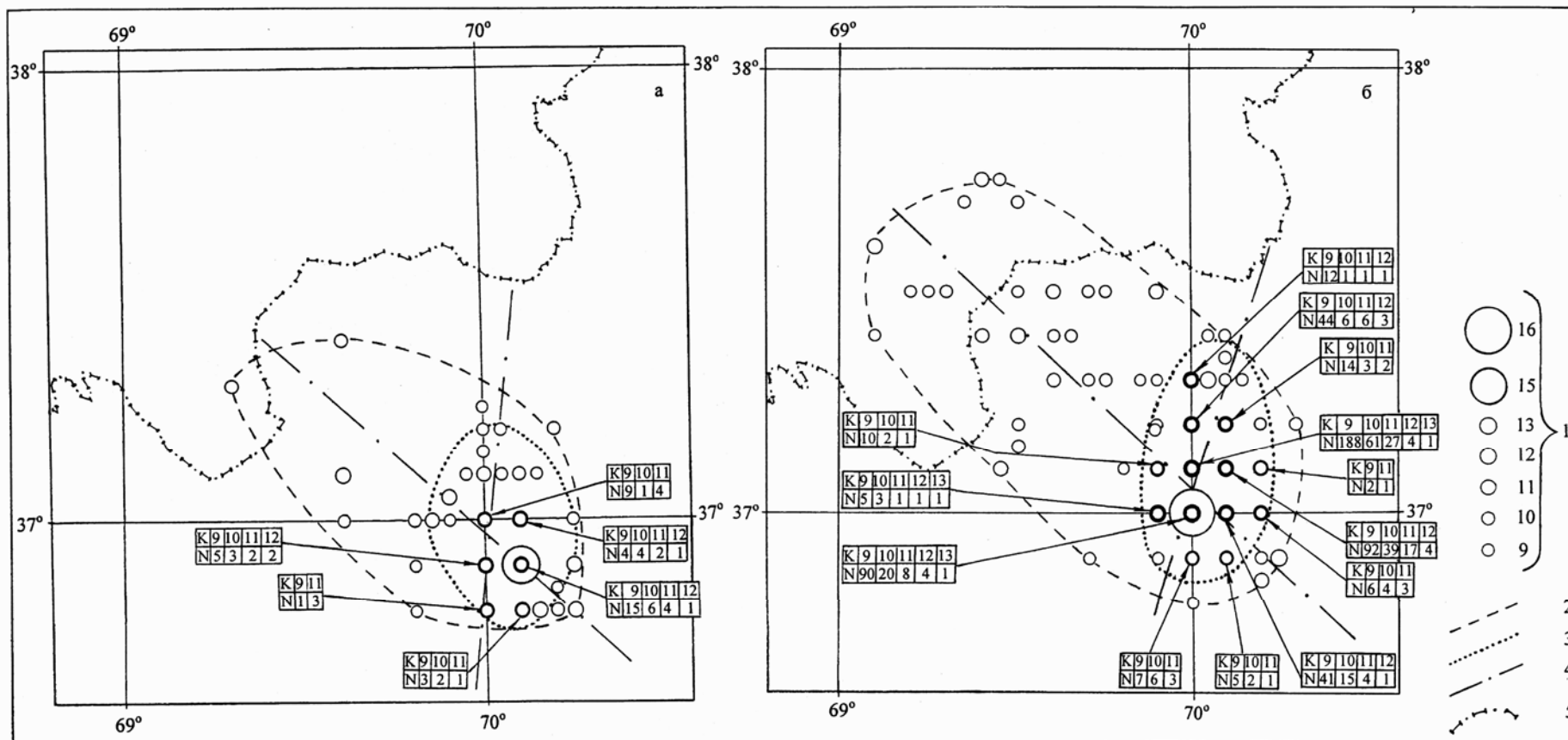


Рис. 8. Карты эпицентров форшоков (а) и афтершоков (б) землетрясения 30 мая с $MS=6.7$

1 – энергетический класс K_p ; 2,3 – граница области всех событий и событий с повышенной их плотностью соответственно; 4 – продольные оси областей всех событий и событий с повышенной их плотностью соответственно; 5 – государственная граница.

В таблицах даны числа землетрясений разных классов с одинаковыми координатами, на которые указывают стрелки.

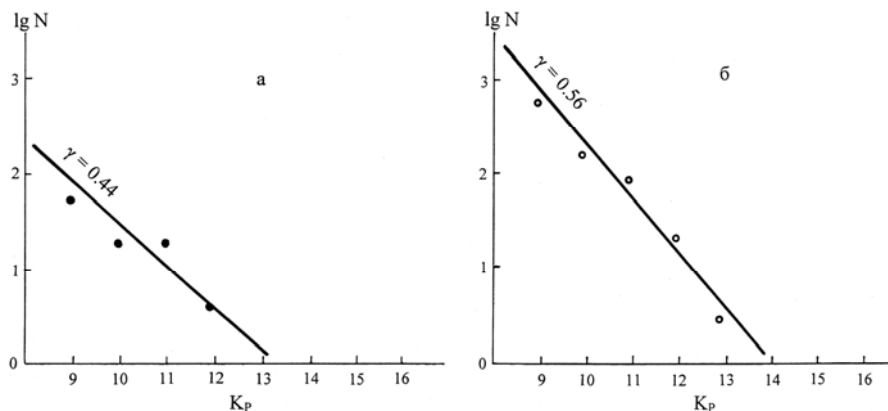


Рис. 9. График повторяемости форшоков (а) и афтершоков (б) землетрясения 30 мая с $MS=6.7$

Главный толчок сопровождался очень интенсивной серией афтершоков ($N=898$ с $K_p \geq 8.6$), хорошо заметной на общем графике суточных чисел землетрясений (рис. 10), построенном для всей исследуемой территории Таджикистана и прилегающих районов других государств. Карта их эпицентров дана также на рис. 8, а в каталоге [18] они помечены буквой «а». Сильных ($K_p \geq 13$) афтершоков было три: через 11 минут после главного толчка (в 06^h33^m с $K_p=13.0$), 1 июня в 11^h44^m с $K_p=12.6$ и 29 июня в 20^h35^m с $K_p=13.3$. Величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным афтершоком составляет $\Delta K_a=2.7$. График повторяемости афтершоков характеризуется наклоном $\gamma_a=0.56$ (рис. 9), что значительно выше среднего $\bar{\gamma}=0.45$ по многолетним наблюдениям [26]. Поле афтершоков главного толчка вытянуто в северо-западном направлении с азимутом продольной оси $AZM=315^\circ$, совпадающим с азимутом продольной оси области форшоков. Приблизительные размеры области афтершоков – 7100 км^2 . Как и для форшоков (рис. 8 а), азимут продольной оси области повышенной плотности афтершоков размером 1600 км^2 изменился с 315° на 12° .

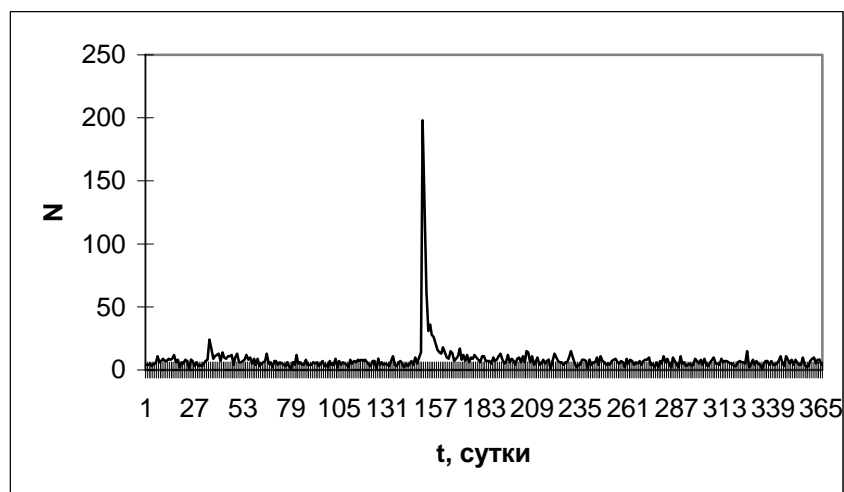


Рис. 10. Суточные числа землетрясений с $K_p \geq 8.6$ на территории Таджикистана и прилегающих районов за 1998 г.

Решения механизмов очагов обоих землетрясений в [27], представленные на рис. 11, заимствованы из бюллетеней ISC [13], согласно которым обе нодальные плоскости имеют крутое падение с подвижками сдвигового типа: левостороннего по плоскости $NP1$ северо-восточного простирания, правостороннего – по плоскости $NP2$ северо-западного простирания. Небольшое различие наблюдается лишь в ориентировке осей сжимающих и растягивающих напряжений: оси сжатия P имеют азимуты 167° и 156° соответственно; оси растяжения T – 75° и 65° . Азимуты осей промежуточных напряжений в очагах этих землетрясений,

равные 308° и 323° , практически совпадают с азимутами продольных осей областей всех форшоков (312°) и афтершоков (315°).

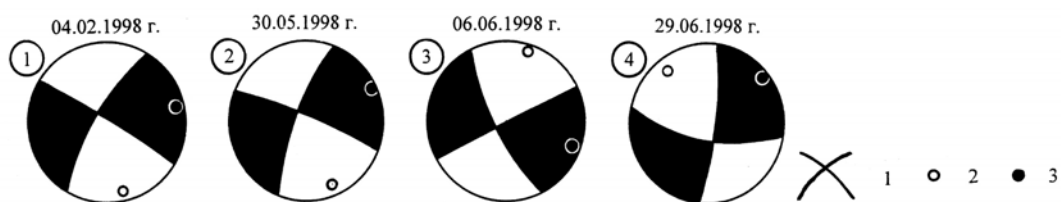


Рис. 11. Механизмы очагов разрушительного землетрясения 30 мая с $M_S=6.7$, его форшока 4 февраля с $M_S=5.9$ и двух афтершоков 6 июня в $13^{\text{h}}37^{\text{m}}$ и 29 июня в $20^{\text{h}}35^{\text{m}}$

Выбор «истинной» плоскости разрыва в очагах землетрясений 4 февраля и 30 мая представляется достаточно сложным. Оба эпицентра локализованы в пределах юго-западной части зоны Дарваз-Каракульского по [28] (Дарваз-Заалайского по [14]) разлома, где происходит резкое изменение его простирания: с близмеридионального на близширотное. Согласно [19], предпочтение следует отдать первым нодальным плоскостям $NP1$ северо-восточного простирания, согласующегося с простиранием западного сегмента Дарваз-Каракульского разлома в месте локализации эпицентров, где «крупные складки, разломы и молодые депрессии имеют в основном северо-восточное, близширотное или меридиональное простирание [19]». Поэтому альтернативная нодальная плоскость $NP2$, имеющая северо-западное простирание, не может рассматриваться в качестве «истинной», как не соответствующая ориентировке наблюдающихся на поверхности геологических структур [19]. Но представленный выше анализ областей форшоков и афтершоков позволяет высказать некоторое сомнение в реализации сдвиговых подвижек только по одной плоскости: скорее всего, подвижки произошли по обеим плоскостям, но существенно разных амплитуд. Ориентация продольных осей областей повышенной плотности фор- и афтершоков близка к ориентациям плоскостей $NP1$, ориентация продольных осей областей всех фор- и афтершоков близка к ориентациям плоскостей $NP2$.

На рис. 11 представлены также решения механизмов очагов [27] для двух афтершоков 6 и 29 июня (в $13^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $K_p=12.3$ и в $20^{\text{h}}35^{\text{m}}$ с $K_p=13.3$ соответственно). В очаге 6 июня ось сжатия ориентирована в северо-восточном направлении, ось растяжения – в юго-восточном. В очаге 29 июня ось сжатия ориентирована в северо-западном направлении, ось растяжения – в северо-восточном. В обоих случаях нодальные плоскости имеют крутое падение с подвижками по ним сдвигового типа: правостороннего – по плоскостям $NP1$, и левостороннего – по $NP2$. Различие лишь в их простирании: для очага 6 июня – северо-западное для $NP1$ и северо-восточное для $NP2$, для очага 29 июня – близширотное для $NP1$ и близмеридиональное для $NP2$.

Несмотря на то, что высвобождение потенциальной энергии упругой деформации происходило большими актами, афтершоковая деятельность после главного толчка 30 мая растянулась на несколько месяцев и в 1998 г. еще не завершилась. Большое число повторных толчков произошло в первые двое суток ($N=320$), т.е. почти треть от их числа до конца 1998 г. Распределение афтершоков по энергетическим классам K_p дано в табл. 4.

Таблица 4. Распределение афтершоков землетрясения 30 мая с $M=6.7$ по энергетическим классам K_p за период с 30 мая по 31 декабря 1998 г.

Месяцы	Энергетический класс K_p						N_Σ
	8	9	10	11	12	13	
30 мая и 31 мая	65	153	63	28	6	1	316
Июнь	34	188	84	35	11	2	354
Июль	–	71	14	9	2	–	96
Август	–	26	9	2	2	–	39
Сентябрь	–	19	3	3	2	–	27
Октябрь	–	18	3	4	–	–	25
Ноябрь	–	14	7	4	–	–	25
Декабрь	–	10	3	2	–	–	15
Всего	99	499	186	87	23	3	897

Ранее в эпицентральной зоне землетрясений 4 февраля и 30 мая также отмечены сильные землетрясения, но меньшей магнитуды (табл. 5).

Таблица 5. Список землетрясений с $K_p \geq 11.6$ в очаговой зоне землетрясений 4 февраля и 30 мая за период наблюдений 1955–1998 гг.

№	Дата д м год	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p	M
			φ° , N	λ° , E			
1	26.05.1959	06 35 58	37.2	70.1		13.5	5.3
2	26.05.1959	06 50 52	37.2	70.1		11.9	
3	11.06.1963	03 25 36	37.1	70.0	38	13.3	5.1
4	29.10.1966	14 46 49	36.8	69.9	6	12.5	4.5
5	16.04.1977	11 27 11	37.1	69.8	10	12.1	4.8
6	11.04.1978	20 34 04	36.9	69.9		11.7	
7	12.10.1982	04 49 35	37.2	69.8		12.4	4.8
8	30.11.1987	01 34 41	37.2	69.8	10	12.3	
9	31.03.1989	08 28 14	37.1	69.7	5	12.4	4.7
10	13.06.1991	12 30 39	37.3	70.3	5	11.6	

Помимо рассмотренных выше событий, в зоне III можно отметить землетрясение с $K_p=13.6$ (25 октября в 20^h05^m), произошедшее западнее рассмотренных (рис. 5). Для него имеется решение механизма очага [27], согласно которому движение в очаге произошло под действием преобладающих сжимающих напряжений, ориентированных в юго-восточном направлении. Обе нодальные плоскости имеют крутое падение и северо-восточное простирание. Тип подвижки по обеим нодальным плоскостям – взброс с компонентой левостороннего сдвига по плоскости NP1 и правостороннего – по плоскости NP2. В ноябре (6 ноября в 21^h37^m) зарегистрирован его повторный толчок с $K_p=12.1$. Очаги этих землетрясений приурочены к Альбурз-Мормульскому разлому (рис. 1). Восточнее их эпицентров 29 апреля в 16^h31^m отмечено землетрясение с $K_p=13.0$. Еще одно землетрясение 13-го энергетического класса зарегистрировано 5 марта в 23^h58^m на Памире между двумя разломами: Дарваз-Заалайским и Ванч-Акбайтальским (рис. 1, б).

В Памиро-Гиндукушской зоне (IV) произошло 1394 глубокофокусных землетрясения, что несколько меньше, чем в 1997 г. ($N_\Sigma=1655$ [1]). В то же время выделившаяся в их очагах суммарная энергия, равная $2.8 \cdot 10^{15}$ Дж (табл. 2), несколько выше таковой в [1] ($2.1 \cdot 10^{15}$ Дж). Их пространственное распределение представлено на рис. 7. Большая их часть локализована на территории Афганистана. Традиционно зона IV подразделяется на 3 подзоны: Афганскую, Хорогскую и Мургабскую, первые две из которых, по данным за 1998 г., характеризуются глубинами очагов $h=40-270$ км, а третья – $h=70-200$ км (табл. 6).

Таблица 6. Распределение числа глубокофокусных Памиро-Гиндукушских землетрясений по глубине h

h , км	$N(h)$			Зона IV	h , км	$N(h)$			Зона IV
	Подзоны зоны IV					Подзоны зоны IV			
	Афганская	Хорогская	Мургабская			Афганская	Хорогская	Мургабская	
70	9	–	1	10	180	149	32	2	183
80	151	44	55	250	190	33	13	–	46
90	3	1	–	12	200	144	44	1	189
100	30	9	17	56	210	60	14	–	74
110	3	3	–	6	220	24	9	–	33
120	5	5	–	10	230	17	14	–	31
130	66	19	15	100	240	4	5	–	9
140	35	5	1	41	250	8	2	–	10
150	135	21	10	166	260	–	–	–	–
160	74	25	–	99	270	–	1	–	1
170	54	22	1	76					
					Всего	1004	287	103	1394

Общее число сильных ($K_p \geq 11.6$) землетрясений в этой зоне составило 35 (табл. 7).

Таблица 7. Распределение сильных глубоких землетрясений.

Подзона	K_p				N_{Σ}	$\Sigma E \cdot 10^{15}$, Дж
	12	13	14	15		
Афганская	20	1	3	1	25	1.330
Хорогская	6	1	–	–	7	0.016
Мургабская	2	1	–	–	3	0.012
Всего	28	3	3	1	35	1.358

Максимальный по энергии толчок с $K_p=15.4$ зарегистрирован на глубине $h=250$ км в **Афганской подзоне** 20 февраля в 12^h18^m. По расчетным данным, интенсивность сотрясений в эпицентре достигла 7 баллов. Пятибалльные колебания этого землетрясения распространились почти на всю территорию Таджикистана, включая г. Душанбе. В Худжанде (Ленинабаде) и Фергане интенсивность колебаний составила 4 балла [18]. Движение в его очаге произошло под действием преобладающих напряжений сжатия, ориентированных в близширотном направлении. Обе нодальные плоскости имеют близмеридиональное простирание (рис. 12). Плоскость $NP1$ залегает полого, тип движения – надвиг; плоскость $NP2$ имеет крутое залегание, тип движения – взброс [27].

Землетрясения 14-го класса, отмеченные 14 февраля в 00^h08^m ($K_p=13.8$, $h=200$ км), 21 марта в 18^h22^m ($K_p=14.2$, $h=230$ км) и 11 декабря в 20^h16^m ($K_p=13.6$, $h=180$ км), также были ощутимы на территории Таджикистана. В частности, в Душанбе они вызвали сотрясения с интенсивностью 3, 4–5, и 3 балла соответственно [18]. Как следует из [27], движение в очаге 14 февраля произошло под действием сжимающих напряжений, ориентированных в близмеридиональном направлении. Обе нодальные плоскости имеют близширотное простирание. Движение по $NP1$ пологого залегания, представлено надвигом, движение по $NP2$ крутого падения, представлено взбросом. Подвижка в очаге 21 марта реализовалась так же под действием напряжения сжатия, ориентированного близмеридионально. Обе нодальные плоскости – близширотного простирания: $NP1$ залегает полого, тип движения – надвиг; $NP2$ – круто, тип движения – взброс. В очаге 11 декабря преобладали сжимающие напряжения, ориентированные на север. Обе нодальные плоскости крутые: $NP1$ – юго-восточного простирания, $NP2$ – юго-западного. Движение в очаге по $NP1$ представлено взбросом с компонентой правостороннего сдвига, по $NP2$ – взбросом с компонентой левостороннего сдвига (рис. 12).

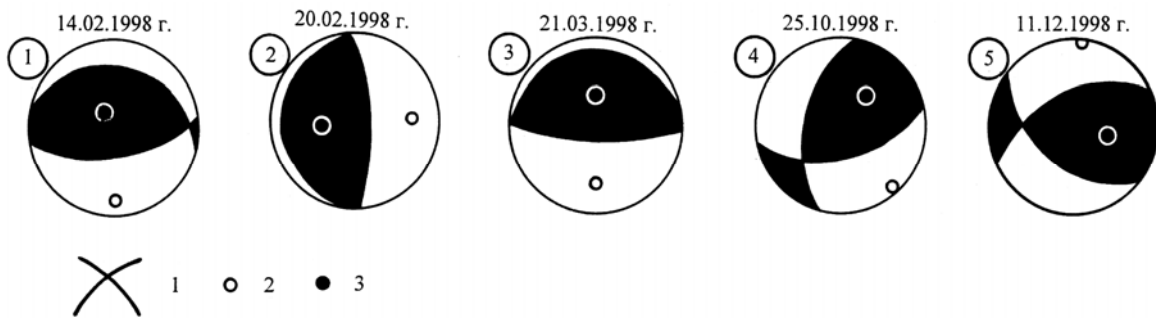


Рис. 12. Механизмы очагов пяти глубоких землетрясений

В целом количество выделившейся энергии этой подзоны уменьшилось в 1.6 раза ($1.330 \cdot 10^{15}$ вместо $2.089 \cdot 10^{15}$ Дж в [1]).

В **Хорогской подзоне** сейсмическая активность увеличилась как по числу землетрясений (7 вместо 2 на уровне $K_p \geq 11.6$ [1]), так и по выделившейся энергии ($0.016 \cdot 10^{15}$ вместо $0.002 \cdot 10^{15}$ Дж). Здесь 7 апреля в 13^h38^m зарегистрировано одно землетрясение с $K_p=12.6$ на глубине $h=230$ км.

В **Мургабской подзоне**, так же как и в 1997 г., отмечен только один толчок с $K_p=13$ (6 марта в 10^h51^m, $K_p=12.8$). Очаг располагался на глубине 130 км. Число землетрясений с $K \geq 12$ несколько уменьшилось.

Л и т е р а т у р а

1. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФООП, 2003. – С. 77–84.
2. Михайлова Р.С., Бибарсова Д.Г., Аранович З.И., Ахалбедашвили А.М., Джанузаков 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.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 49–58.
4. Кулагин В.К. Строение земной коры Вахшского района Таджикской ССР по сейсмическим данным. Канд. дис. – Иркутск: Фонды Иркутского Государственного университета, 1970. – 150 с.
5. 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.
6. Лукк А.А., Нерсесов И.Л. Глубокие Памиро-Гиндукушские землетрясения // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М.: Наука, 1970. – С. 118–136.
7. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясения // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; №9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 75–114.
8. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; №32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
9. 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.
10. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Давлятова Р., Хусейнова Г.А., Улубиев А.Н., Максименко Т.И. Таджикистан. Каталог землетрясений Таджикистана за 1998 г. с $K_p \geq 8.6$ (оригинал). – Душанбе: Фонды ТИССС, 1999. – 50 с.
11. Джанузаков К.Д. (по региону), Соколова Н.П. (Кыргызстан), Калмыкова Н.А., Неверова Н.П. (Казахстан), Гиязова Ш.Ш. (Узбекистан), Сопиева К., Жунусова Ж., Айбашева К., Шипулина С.А., Умурзакова Р.А., Проскурина Л.П., Ульянина И.А., Каймачникова Н.И., Гайшук Л.И., Тулегенова М.К., Абдыкадыров А.А. Центральная Азия (См. раздел IV (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
12. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1998 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 1998–1999.
13. Bulletin of the International Seismological Centre (for 1998). – Berkshire: ISC, 2000.
14. Ачилов Г.Ш., Бабаев А.М., Мирзоев К.М., Михайлова Р.С. Сейсмогенные зоны Памира // Геология и геофизика Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1985. – С. 117–138.
15. Джанузаков К.Д., Ильясов Б.И., Калмыкова Н.А., Гиязова Ш.Ш. Центральная Азия (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
16. Михайлова Р.С. (отв. сост.). Северная Евразия (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
17. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Таджикистан // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 60–66.
18. 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 IV (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
19. Старовойт О.Е., Захарова А.И., Рогожин Е.А., Михайлова Р.С., Пойгина С.Г. Евразия в 1997–1998 гг. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
20. Джураев Р.У. Кули-Суфиёнское землетрясение 3 сентября 1998 года с $K_p=12.8$, $I_0=6$ (Таджикистан) (См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.).
21. Ризниченко Ю.В. Сейсмический режим Гармского района // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; №9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 221–238.

22. **Ризниченко Ю.В.** Сейсмический режим Сталинабадского района // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; №9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 239–246.
23. **Бунэ В.И., Кулагин В.К., Соболева О.В.** Сейсмический режим Вахшского района Таджикской ССР. – Душанбе: Дониш, 1965. – 270 с.
24. **Джураев Р.У.** Чимтеппинское землетрясение 20 сентября 1998 года с $K_p=12$, $I_0=5-6$ (Таджикистан) (См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.).
25. **Раутиан Т.Г.** Энергия землетрясения // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; №9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 75–114.
26. **Гайский В.Н., Рейман В.М., Каток А.П.** Таджикистан // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 286–303.
27. **Михайлова Р.С. (сост.).** Таджикистан (См. раздел V (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
28. **Бабаев А.М., Киняпина Т.А., Мирзоев К.М., Михайлова Р.С., Кошлаков Г.В.** Таджикистан // Сейсмическое районирование территории СССР. – М.: Наука, 1980. – С. 175–182.