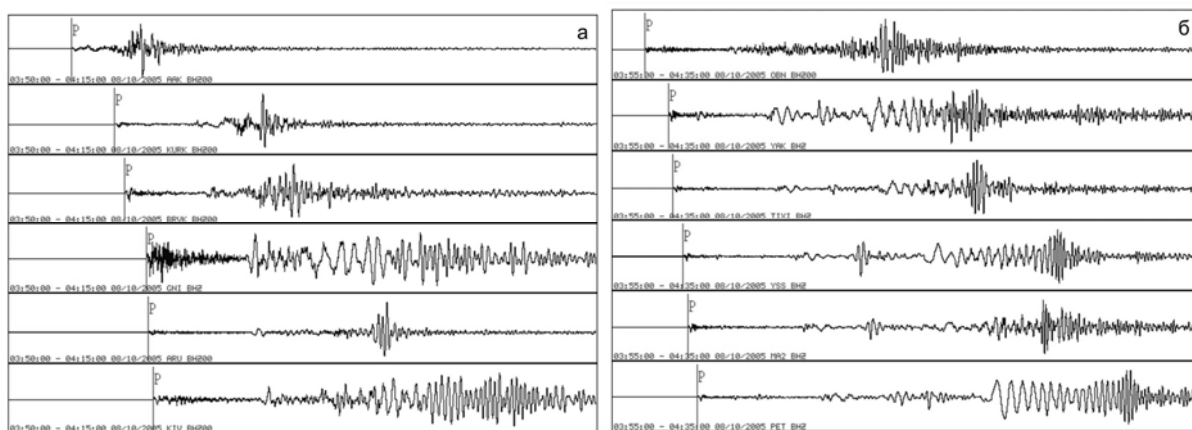


**ПАКИСТАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 8 октября 2005 г.****с  $M_w=7.6$ ,  $I_0=9-10$  (южнее Таджикистана)****Р.С. Михайлова<sup>1</sup>, Е.А. Рогожин<sup>2</sup>, А.Н. Овсяченко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, [raisa@gsras.ru](mailto:raisa@gsras.ru)<sup>2</sup>Институт физики Земли РАН, г. Москва, [eurog@ifz.ru](mailto:eurog@ifz.ru)

Пакистанское землетрясение произошло 8 октября в 03<sup>h</sup>50<sup>m</sup> на северо-западном окончании горно-складчатой системы Гималаев. Приведем цифровые записи этого землетрясения из [1] для ближней (рис. 1 а,  $\Delta=8-25^\circ$ ) и дальней зон (рис. 1 б,  $\Delta=33-60^\circ$ ). Записи читаемы на всех станциях, вступления продольных и поперечных волн не осложнены никакими добавочными колебаниями, например типа «сдвоенных» толчков. Это – разовое нарушение сплошности горных пород в его очаге.



**Рис. 1.** Фрагменты записей Пакистанского землетрясения в ближней (а) и дальней (б) зонах

Станции ближней зоны (сверху вниз): «Ала-Арча»,  $\Delta=8^\circ$ , «Курчатов» –  $16^\circ$ , «Боровое» –  $19^\circ$ , «Гарни» –  $23^\circ$ , «Арти» –  $24^\circ$ , «Кисловодск» –  $25^\circ$ . Станции дальней зоны: «Обнинск» –  $33^\circ$ , «Якутск» –  $44^\circ$ , «Тикси» –  $47^\circ$ , «Южно-Сахалинск» –  $52^\circ$ , «Магадан» –  $54^\circ$  и «Петропавловск-Камчатский» –  $60^\circ$ .

**Последствия землетрясения** катастрофичны. В Северном Пакистане, по данным NEIC [2], в результате землетрясения погибли 86000 чел., ранены более 69000, крова лишились 4 млн чел. Здания уничтожены в Абботтабаде, Гужранвале, Гужрате, Исламабаде, Лахоре и Равалпинди (максимальная интенсивность сотрясений  $I=8$  баллов). В г. Топи интенсивность сотрясений составила  $I=7$  баллов, Пешаваре и Равалпинди – 6 баллов, в Файзабаде и Лахоре – 5 баллов. Ощущалось землетрясение в Чаквале, Жханге, Саргордхе и даже в Кветте.

В Индии погибли 1350 чел. и ранены 6266. Сильнейшие разрушения возникли в районе Музаффарабада, где здания разрушены полностью, в районе г. Ури, где разрушено 80% города. Уничтожено, по меньшей мере, 32225 зданий в городах Анантнаге, Барамуле, Джамми и Шринагари (Кашмир). Интенсивность сотрясений в Чандигархе и Нью-Дели составила  $I=5$  баллов, в Дели и Гургаоне – 4 балла. Также землетрясение ощущалось в Гужарате, Харьяне, в Химашал-Прадеш, Мадхя-Прадеш, Пунджабе, Раястхане, Уттаранхале и Уттар-Прадеш.

В Афганистане погиб, по меньшей мере, 1 чел., уничтожены несколько зданий. В Кабуле землетрясение ощущалось с интенсивностью  $I=4$  балла, в Баграме – 3 балла.

Оползни и обвалы горных пород разрушили или повредили несколько горных дорог и скоростных трасс, отрезав от доступа в регион на несколько дней. Оползни также наблюдали далеко к северу от эпицентра, вблизи гг. Гилгит и Скарду (Кашмир). Разжижение грунта и пес-

чаные фонтаны возникли в западной части провинции Вале в Джамму и Кашмире; оползни и горные обвалы также поразили частично склоны в провинции Химачал-Прадеш (Индия). Сейши наблюдались в Харьяне, Уттар-Прадеш, Западном Бенгале (Индия) и во многих местах в Бангладеш.

Землетрясение ощущалось во всей Средней Азии [3, 4]. Интенсивность сотрясений на территории Таджикистана составила  $I=5-6$  баллов в Хороге (345 км), 4–5 баллов – в Кулябе (470 км), 4 балла – в Душанбе (580 км), 2–3 балла – в Худжанде (Ленинабаде) (690 км) [4]; в Узбекистане – в Карши с  $I=3$  балла; в Казахстане – в Алматы [3].

Магнитуды  $M_S$ ,  $M_s$ ,  $M_w$  землетрясения одинаковы по величине и равны 7.6 (табл. 1), глубина очага по фазе  $pP$  составила  $h_{pP}=16\pm 2.3$  км [2]. Подставляя это значение глубины очага, как наиболее достоверное, в осредненное уравнение макросейсмического поля Н.В. Шебалина [5]

$$I_0 = 1.5 M - 3.5 \lg h + 3.0, \quad (1)$$

получаем расчетное значение интенсивности сотрясений в эпицентре  $I_0^P \sim 10.2$  балла, хотя по данным [2] и рис. 2 из [1], максимальная интенсивность равна  $I_0=9$  баллов.

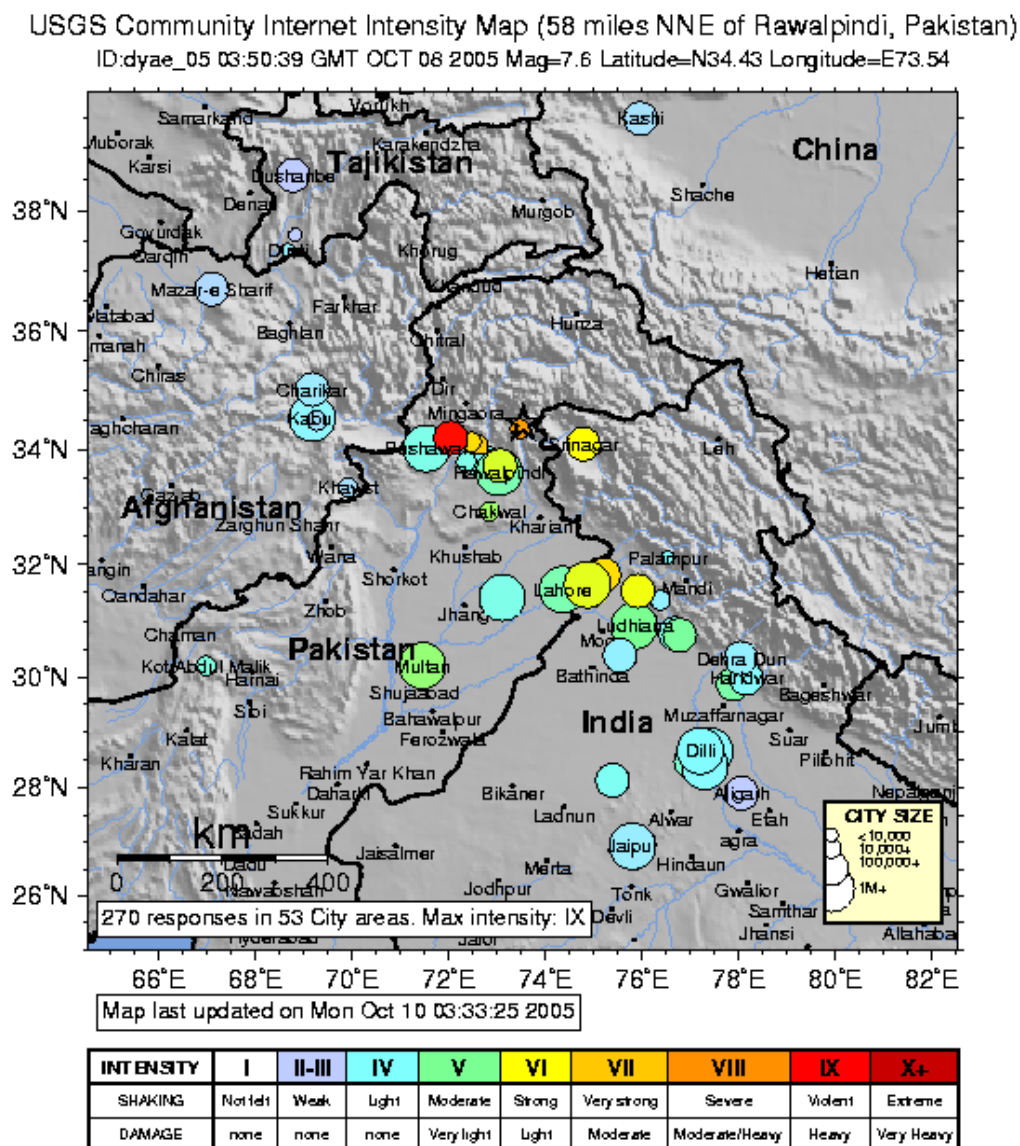


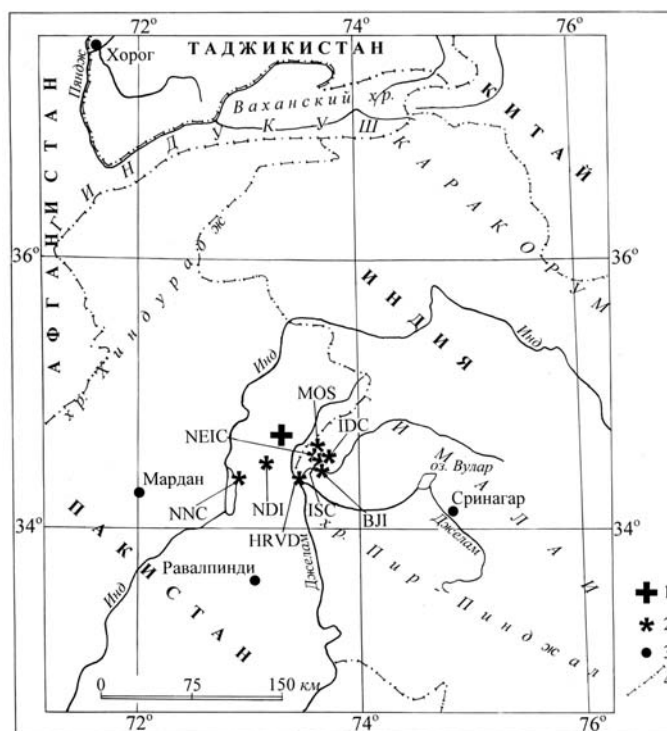
Рис. 2. Экспресс-карта интенсивности сотрясений Пакистанского землетрясения 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$

Основные параметры землетрясения по данным девяти служб представлены в табл. 1, а положение эпицентров изображено на рис. 3.

**Таблица 1.** Параметры Пакистанского землетрясения 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$  по данным ТИССС (Таджикистан) и других агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
ТИССС	03 50 45.0	4.5	34.70	0.30	73.30	0.30	20	10	$K_p=16.8$ , $K_p(M)=17.7^*$	[4]
MOS	03 50 38.9	1.0	34.63		73.63		22		$M_S=7.6/45$ , $M_{PSP}=6.8/54$ , $M_w=7.2/1$	[3]
ISC	03 50 36.0	0.5	34.52	0.02	73.64	0.01	8 16*	1 2.3*	$M_s=7.6/177$ , $m_b=6.7/345$	[2]
NEIC	03 50 40.8	0.1	34.54		73.59		26		$M_s=7.7/124$ , $m_b=6.9/225$ , $M_w=7.3$	[2]
HRVD	03 50 40.8	0.1	34.38		73.47		12		$M_w=7.6/68$	[2]
IDC	03 50 37.0	0.3	34.53		73.71				$M_s=7.6/25$ , $m_b=6.0/41$	[2]
BJI	03 50 39.3		34.42		73.66				$M_S=7.9$ , $M_{sz}=7.6$ , $m_b=6.3$ , $m_B=7.3$ , $M_L=7.6$	[2]
NDI	03 50 36.4		34.49		73.15		10		$M_s=7.6$ , $M_L=7.0$	[2]
NNC	03 50 40.5	6.5	34.39		72.90		60	81	$MPV=7.2$	[2]

Примечание. ТИССС – Институт сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан; MOS – Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Россия; ISC – Международный сейсмологический центр, г. Беркшир, Великобритания; NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США, г. Денвер, США; HRVD – Гарардский университет, г. Кембридж, США; IDC – Международный центр данных, г. Вена, Австрия; BJI – Сейсмологическое бюро, Институт геофизики, г. Пекин, Китай; NDI – Индийский геологический департамент, г. Нью-Дели, Индия; NNC – Казахстанский национальный центр данных, г. Алматы, Казахстан.



**Рис. 3.** Разные решения эпицентра Пакистанского землетрясения 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$

1 – инструментальный эпицентр по данным ТИССС; 2 – то же, по данным других сейсмологических служб; 3 – населенный пункт; 4 – государственная граница.

Как видим, решения агентств MOS, ISC, NEIC, BJI, IDC расположены компактно. Достаточно близко (в 22 км) от этой группы находится решение HRVD. Остальные три решения смещены к западу (на 37 км – ТИССС, 45 км – NDI) и юго-западу (на 69 км – NNC). Глубина

очага определена в диапазоне  $h=8-22$  км. Энергетический класс главного толчка по [4], равный в  $K_p=16.8$ , явно занижен. Его расчетное значение по формуле Т.Г. Раутиан [6]

$$K_p = 4 + 1.8 M, \quad (2)$$

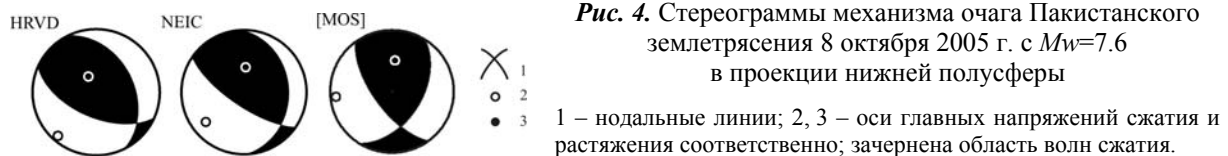
при  $M=M_w=7.6$  оказывается равным  $K=17.7^*$ , т.е. почти на порядок выше, чем в [4], что более соответствует уровню магнитуды  $M=7.6$ .

**Механизм очага землетрясения** представлен в данных агентств HRVD, NEIC, а также определен в ГС РАН [7] (табл. 2).

**Таблица 2.** Параметры механизма очага Пакистанского землетрясения 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$

Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды		Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					Источ- ник	
			$M_w$	$M_s$	T		N		P		NP1			NP2			
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP		SLIP
08.10	03 50 40.8	12	7.6		68	334	20	128	9	221	334	40	123	114	57	65	[2, HRVD]
08.10	03 50 40.8	26	7.3	7.7	57	4	22	132	24	232	358	29	140	124	72	67	[2, NEIC]
08.10	03 50 38.9	22	7.2	7.6	48	5	41	166	10	264	32	50	148	144	66	44	[7, MOS]

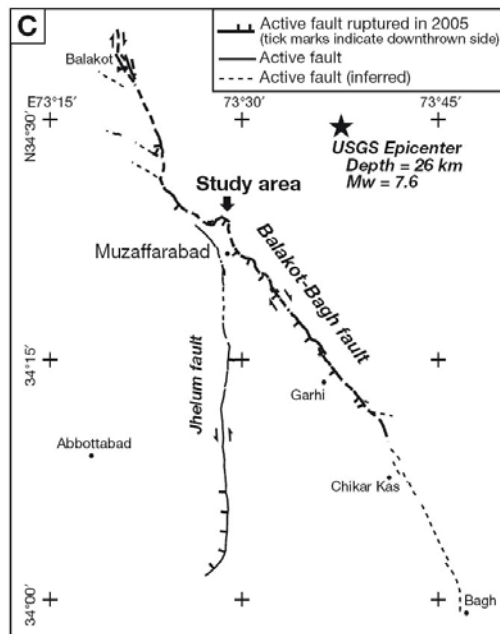
Графическое изображение трех решений механизма очага главного толчка Пакистанского землетрясения дано на рис. 4.



Как следует из табл. 2, землетрясение реализовалось в условиях преобладания близгоризонтальных напряжений сжатия, ориентированных на юго-запад по решениям HRVD, NEIC и на запад – по ОБН. Такая система напряжений вызвала в очаге подвижку типа взброс по обеим плоскостям с компонентами правостороннего сдвига по  $NP1$  и левостороннего – по  $NP2$  во всех трех решениях. При этом хорошо объясняется подвижка типа взброс по поверхности диагональной, северо-западной ориентировки с небольшой компонентой правого сдвига по решениям HRVD, NEIC при сравнении с ориентацией вышедшего на поверхность разрыва и продольной оси области афтершоков, рассмотренных ниже. Решение же [7] несколько не согласуется с вышеописанными.

**В тектоническом плане** землетрясение возникло в северо-западной части Гималаев и сопровождалось выходом очага на поверхность на центральном отрезке известного, выявленного еще до сейсмического события, активного разлома Балакот-Багх [8] в виде главного правостороннего взбросо-сдвига общей длиной  $L \sim 75 \pm 5$  км, простирающегося с юго-востока на северо-запад (рис. 5). Взброшено северо-восточное крыло. Поверхность взбросо-сдвига (а местами он представляет собой надвиго-сдвиг) погружается на северо-восток под углами до  $50^\circ$ . Амплитуда вертикального смещения составляет примерно 1.7 м, хотя на северо-восточном сегменте сейсмо-разрыва полное смещение (горизонтальное плюс вертикальное) достигает 7 м.

Правосдвиговая компонента составляет несколько десятков сантиметров. Во взброшенном крыле сейсморазрыва сформировалась система вторичных разрывов, детально изученная и описанная в [10]. Вторичные нарушения поверхности отнесены к двум основным типам: сбросам и правосторонним сдвигам, соответствующим по морфологии сколам Риделя. Сбросы имеют диагональное простирание с северо-запада на юго-восток с амплитудой максимального вертикального смещения 3.3 м, а горизонтального – 2.5 м. Оценка величины общего горизонтального растяжения вкрест системы вторичных сбросов свидетельствует о цифрах в 3.1–3.5%. Полевые наблюдения показали, что сколы Риделя секут сбросы. Это несоответствие основных вторичных типов дислокаций объясняется сменой обстановки растяжения на обстановку сдвига в течение времени вспарывания очага главного толчка. Это относится и к соотношению взбро-сой подвижки и небольшой правосдвиговой составляющей в зоне первичного сейсморазрыва.



**Рис. 5.** Карта зоны активного разлома Балакот-Багх, обновившегося при Пакистанском землетрясении 2005 г. в виде первичного сейсморазрыва

Линии активных разломов показаны по данным [9], положение сейсморазрыва главного толчка – по [8], главный толчок изображен звездой (рядом даны глубина и магнитуда), жирной стрелкой указано положение участка исследований в траншеях.

опущенном крыле разрыва. Толчок 2005 г. вызвал полное смещение в 5.4 м, как и предыдущий толчок, с которым была связана похожая по размерам деформация. При этом вертикальное смещение измерялось величиной 1.5–1.7 м. Данные радиоуглеродного датирования и исторические источники позволяют грубо оценить время возникновения предыдущего сильного землетрясения в период 500 и 2200 лет назад, хотя вскрытый стратиграфический разрез охватывает примерно 4 тысячи лет и дает основание считать интервал повторяемости землетрясений типа толчка 2005 г. около одного раза в две тысячи лет.

Собранные данные позволяют заключить, что очаг сейсмического события 2005 г. не был связан с грандиозным взбросом на границе литосферных плит (с Главным Пограничным взбросом Гималаев), но возник в зоне внутриплитного активного разлома в Низких Гималаях, с которым связана Индо-Кохистанская сейсмоактивная зона. Соответственно, накопленные упругие напряжения на северо-западной границе Индо-Азиатской зоны коллизии не были существенно реализованы при этом землетрясении.

Активизировавшийся при землетрясении разлом Балакот-Багх (по другим данным – Музаффарабадский) смещает как Главный Пограничный взброс, так и всю достаточно узкую в этом месте зону Низких Гималаев, включая и Главный Центральный взброс, на участке ее узкого изгиба к северу – Хазаро-Кашмирского синтаксиса Северного Пакистана [15], т.е. данный разлом является более активным на современном этапе, чем эти основные тектонические линии Гималаев.

**Сейсмическое затишье.** Предваряющая сейсмичность непосредственно перед землетрясениями, как свидетельство реализации начала процесса разрыва в очаге главного толчка, отсутствует, что следует из табл. 3. В ней даны землетрясения, выбранные из бюллетеней ISC [2] за 20 месяцев, начиная с 1 января 2004 г. по 8 октября 2005 г., с площади, которую заняли после главного толчка его афтершоки.

Субпараллельные главному сейсморазрыву системы вторичных разрывов сбросового или сбросо-сдвигового типа характерны для эпицентральных зон нескольких ранее изученных землетрясений с магнитудами, близкими к магнитуде Пакистанского события. Обычно эти трещины возникали в случае, когда приподнятое крыло основного сейсморазрыва было осложнено активной антиклиналью, приподнимавшейся в моменты сильных землетрясений. Именно на гребне такой антиклинали возникали условия растяжения при взбросовом смещении по главному разрыву и формировались системы сбросов. Таковы примеры Эль-Аснамского землетрясения 1980 г. в Алжире [11, 12] и землетрясения Чи-Чи 1999 г. на Тайване [13].

Для оценки величины полного смещения и изучения сейсмической истории очаговой зоны Пакистанского землетрясения в районе г. Музаффарабад вкрест простирания центрального сегмента были пройдены траншеи, по материалам их документирования были сделаны палеосейсмогеологические заключения [14]. Зона разлома представлена в траншее в виде взбросо-надвига, секущего позднеголоценовые флювиальные отложения, и содержит очевидные следы как землетрясения 2005 г., так и предыдущего сейсмического события. Это подтверждается наличием отложений коллювиального состава и увеличением мощности отложений в

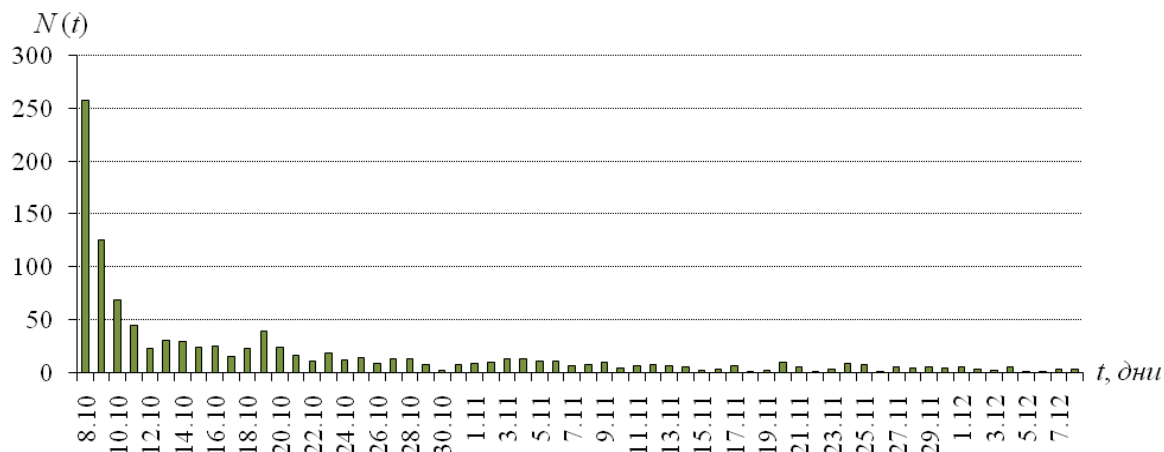
**Таблица 3.** Параметры эпицентров землетрясений на площади с  $\varphi=33.9\text{--}35.1^\circ\text{N}$  и  $\lambda=72.7\text{--}74.1^\circ\text{E}$  до главного толчка

№	Дата, д м год	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M_s$	$m_b$	Расчетные $K$
			$\varphi^\circ, \text{N}$	$\lambda^\circ, \text{E}$				
Землетрясения за период 01.01.2004 г. – 07.10.2005 г.								
1	14.02.2004	10 30 22	34.75	73.16	26	5.2	5.4	13.7
2	14.02.2004	11 15 15	34.81	73.47	33		3.8	10.1
3	14.02.2004	11 56 59	34.77	73.17	36	5.0	5.4	13.7
4	15.02.2004	03 44 46	34.76	73.29	42	3.5	4.3	11.2
5	15.02.2004	05 42 11	35.00	73.15	10		3.5	9.4
6	16.02.2004	08 59 41	34.75	73.44	43	3.8	3.8	10.1
7	16.02.2004	19 11 51	34.93	73.21	10		3.7	9.8
8	22.02.2004	08 03 58	34.76	73.39	47	4.0	4.7	10.5
9	21.03.2004	06 05 15	34.98	73.21	15		3.9	10.3
10	01.04.2004	14 40 05	34.89	73.11	23		3.6	9.6
11	05.09.2004	04 52 21	34.12	73.24	10		3.2	8.7
12	10.11.2004	12 06 42	34.93	73.82	11		3.3	8.9
13	01.01.2005	10 23 53	34.96	73.11	49		4.3	11.2
14	22.01.2005	13 38 00	33.93	73.27	10		3.7	9.8
15	05.02.2005	10 47 51	34.64	73.40	48	4.2	4.8	12.4
16	09.02.2005	15 55 56	34.72	73.82	40		4.2	11.0
17	05.04.2005	10 21 47	34.39	73.86	33		3.4	9.1
18	19.04.2005	16 20 32	34.70	73.63	38		3.2	8.7
Основной толчок								
	<b>08.10.2005</b>	<b>03 50 36.0</b>	<b>34.52</b>	<b>73.64</b>	<b>8 и 16*</b>	<b>7.6</b>	<b>6.7</b>	<b>17.7</b>

Действительно, последнее весьма слабое ( $K_p=8.7$ ) землетрясение в этом списке зафиксировано 19 апреля 2005 г., т.е. за 170 дней до главного толчка, а далее наступило полное затишье на сравнительно большой площади (ее размеры можно приближенно ограничить координатами:  $\varphi=33.9\text{--}35.1^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=72.7\text{--}74.1^\circ\text{E}$ ). Общее их число в пределах указанных координат, согласно табл. 3, равно  $N_\Sigma=18$ . При этом предварительные толчки происходили вне очага будущего землетрясения, и в основном к северу от него. Два наиболее сильных ( $K_p=13.7$ ) землетрясения в табл. 3 реализовались еще в феврале 2004 г., т.е. задолго до главного толчка, и поэтому могут не рассматриваться в качестве форшоков.

**Афтершоки** у Пакистанского землетрясения многочисленны. Они были выбраны из [2] и исследованы до конца 2007 г. Общее их число составило  $N_\Sigma=1367$  [16].

**Затухание афтершоков** представлено на двух фрагментах рис. 6, которые характеризуют начальную фазу с 8 октября и до конца 2005 г. – число афтершоков за каждый день (рис. 6 а) и весь интервал с 8 октября 2005 г. по 31 декабря 2007 г., когда афтершоки выбирались за каждый месяц (рис. 6 б).


**Рис. 6 а.** Суточные числа афтершоков за первые два месяца после главного события 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$



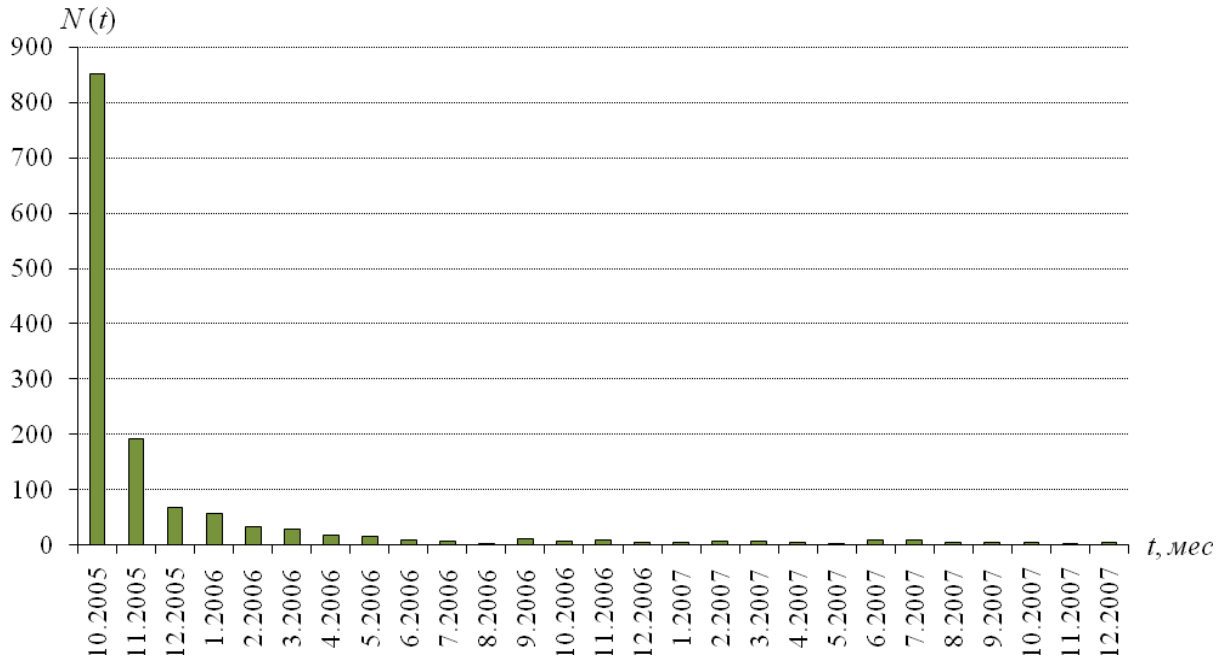


Рис. 6 б. Месячные числа афтершоков за 2005–2007 гг. после главного события 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$

Как видим, в данном случае наблюдается «чистая» серия афтершоков с монотонным спадом их активности, не осложненная дополнительными импульсными вспышками числа афтершоков или роевыми землетрясениями, как это наблюдалось, например, при Чаруодинском землетрясении 10 ноября 2005 г. с  $M_w=5.8$  в Якутии, описанном в наст. сб. [17].

Статистическая оценка параметров затухания афтершоков найдена в соответствии с законом Уцу типа

$$N(t) = A/(t+c)^{-p},$$

где  $A$ ,  $p$ ,  $c$  – постоянные;  $p$  для различных землетрясений изменяется от 0.8 до 1.5,  $c$  – от 0.01 до 0.5 суток. Полагая  $c=0$ , уделим основное внимание параметру  $p$  [18]. Полученные методом ортогональной регрессии два уравнения затухания афтершоков для указанных выше начального (рис. 6 а) и суммарного (рис. 6 б) периодов времени имеют вид:

$$N(t) = 515 / t^{-1.31} \quad \text{и} \quad N(t) = 600 / t^{-1.68}.$$

Различие в коэффициентах затухания афтершоков « $p$ »

$$p_1 = -(1.31 \pm 0.08), \quad p_2 = -(1.68 \pm 0.12)$$

несколько выходят за пределы ошибок их определения. При этом получается, что в первые два месяца наблюдений затухание активности афтершоков происходило с меньшей скоростью, чем за весь интервал наблюдений. В то же время, согласно [18], оба значения коэффициента затухания  $p$  выше, чем средние оценки по многим районам.

**В пространстве** положение наиболее протяженной части первичного сейсморазрыва при Пакистанском землетрясении сопоставлено с локацией эпицентра главного толчка и размещением облака эпицентров афтершоков (рис. 7). Зона наиболее плотной концентрации эпицентров афтершоков располагается северо-западнее обнаруженного сейсморазрыва. По-видимому, значительная часть очага землетрясения осталась здесь на глубине и не вышла на поверхность.

Из рис. 7 видно, что облако афтершоков тяготеет к окончанию активного разлома северо-западного простирания. Эпицентр главного удара располагается примерно в 20 км к северо-востоку от выхода очага на поверхность. Список наиболее сильных афтершоков Пакистанского землетрясения приведен в табл. 4.

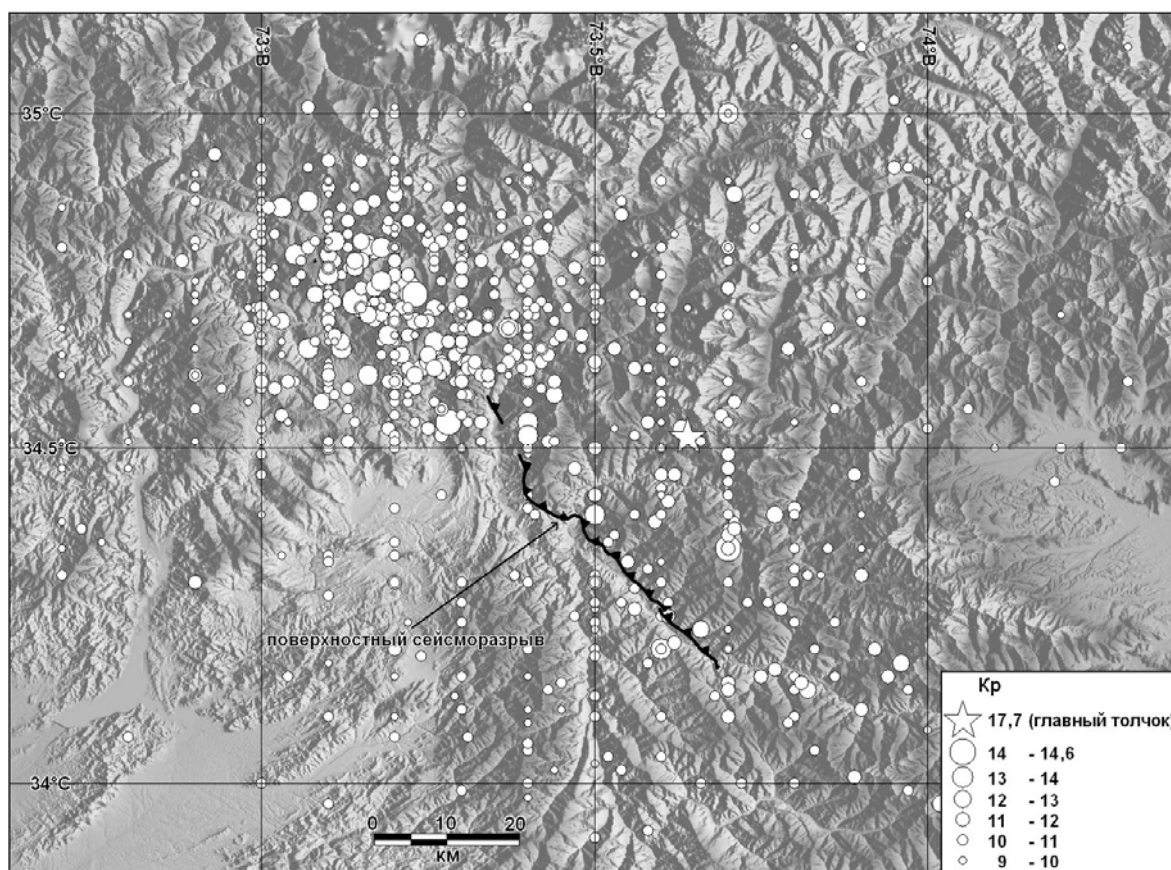


Рис. 7. Цифровая карта рельефа эпицентральной области Пакистанского землетрясения (составлена А.Н. Овсяченко)

Черными линиями показана закартированная зона поверхностного сейсморазрыва по [8], белыми кружками обозначены эпицентры афтершоков землетрясения с размерами, соответствующими энергетическому классу.

Таблица 4. Наиболее сильные ( $M_w \geq 5.0$ ) афтершоки Пакистанского землетрясения из [16]

№	Дата, д м год	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M_S$	$M_s$	$M_w$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$				
основной толчок								
	<b>08.10.2005</b>	<b>03 50 36.0</b>	<b>34.52</b>	<b>73.64</b>	<b>16*</b>	<b>7.6</b>	<b>7.6</b>	<b>7.6</b>
афтершоки								
1	08.10.2005	10 46 27.9	34.72	73.14	14*	6.3	6.5	6.4
2	08.10.2005	12 08 26.8	34.61	73.23	14*	5.4	5.5	5.7
3	08.10.2005	12 25 20.0	34.78	73.14	20*	5.2	5.3	5.7
4	08.10.2005	21 13 30.8	34.73	73.23	15*	5.3	5.4	5.5
5	08.10.2005	21 45 09.3	34.62	73.27	13*	4.8	4.9	5.4
6	09.10.2005	04 58 54.5	34.73	73.08	19*	4.5	4.4	5.0
7	09.10.2005	07 09 18.0	34.61	73.16	15*	4.8	5.0	5.4
8	09.10.2005	08 30 00.5	34.74	73.22	12*	5.2	5.3	5.7
9	09.10.2005	11 21 43.9	34.70	73.16	21*		4.2	5.0
10	09.10.2005	19 20 35.8	34.35	73.70	14*	5.0	5.0	5.4
11	12.10.2005	20 23 36.7	34.86	73.15	12*	4.8	5.0	5.3
12	18.10.2005	21 20 06.2	34.65	73.07	14*	4.7	4.4	5.0
13	19.10.2005	02 33 28.3	34.78	73.08	13*	5.2	5.3	5.6
14	19.10.2005	03 16 21.5	34.79	73.05	23*	4.8	4.9	5.4
15	19.10.2005	12 47 28.1	34.78	73.11	15*	4.7	4.8	5.1
16	23.10.2005	15 04 20.4	34.86	73.03	18*	5.0	5.2	5.5
17	28.10.2005	21 34 15.2	34.67	73.19	23*	4.5	4.6	5.2
18	06.11.2005	02 11 52.0	34.54	73.40	14*	4.5	4.7	5.1



№	Дата, д м год	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$M_S$	$M_s$	$M_w$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				
19	21.11.2005	08 26 13.7	34.76	73.10	23*	4.6	4.6	5.2
20	25.12.2005	08 02 05.0	34.65	73.26	16*	4.7	4.8	5.2
21	28.12.2005	22 04 29.9	34.68	73.37	19*	4.4	4.5	5.1
22	20.03.2006	17 40 76.0	34.83	73.76	17*	4.7	4.7	5.2

Примечание. Знаком \* отмечены глубины по фазе  $pP$ ; магнитуда  $M_w$  дана по HRVD из [3].

Из таблицы следует, что максимальный афтершок с  $M_w=6.4$  возник через 7<sup>h</sup> после главного толчка. Магнитудная ступень между главным толчком и максимальным афтершоком составила

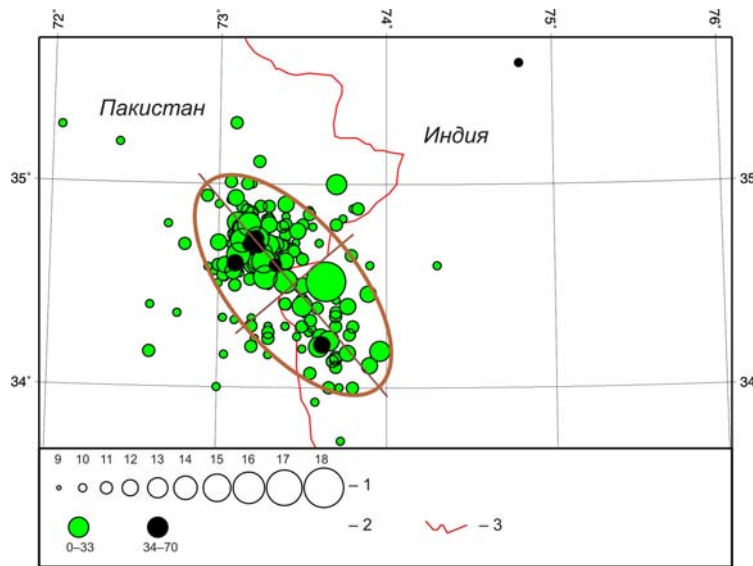
$$\Delta M_a = 7.6 - 6.4 = 1.2,$$

или при пересчете в энергетические классы

$$\Delta K_a = 17.7 - 15.5 = 2.2.$$

Эти различия невысоки, что является неким свидетельством о полном снятии накопившихся напряжений, и, следовательно, можно не ожидать повторения землетрясения подобной энергии в этом районе достаточно длительный период времени.

**Размер очага землетрясения**, как правило, достаточно хорошо оконтуривают «начальные» афтершоки. С этой целью рассмотрим карту эпицентров афтершоков только за 8 октября (т.е. за 20<sup>h</sup> спустя), приведенную на рис. 8.



**Рис. 8.** Поле начальных афтершоков Пакистанского землетрясения за 20<sup>h</sup> после него  
1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – государственная граница.

Представленное поле легко оконтуривается эллипсом, ориентированным на северо-запад. Линейные размеры продольной и поперечной осей составили  $\ell_{\parallel}=130$  км и  $\ell_{\perp}=67$  км. Отношение длин осей близко к  $\ell_{\parallel}/\ell_{\perp}\sim 2$ , площадь эллипса  $S_{\text{афт.}}=7470$  км<sup>2</sup>. Если взять только область высокой плотности афтершоков, то длина продольной оси уменьшится до  $\ell_{\parallel}=98$  км.

Сравним эти оценки длины области афтершоков в первые сутки с оценками длины разрыва в очаге. Это прежде всего сведения об упомянутом выше [8] видимом разрыве на поверхности в виде главного правостороннего взбросо-сдвига общей длиной  $L\sim 75\pm 5$  км. Есть еще в наст. сб. [7] оценка длины разрыва и других параметров очага Пакистанского землетрясения по спектрам продольных волн по записям цифровой аппаратуры на станции «Обнинск» (табл. 5). По этим данным  $L=46$  км, что в 1.6 раза меньше длины разрыва, вышедшего на поверхность.

**Таблица 5.** Динамические параметры очага Пакистанского землетрясения 2005 г. с  $M=7.6$  по записям цифровой аппаратуры STS-1 на станции «Обнинск» из [7]

Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Стан- ция	$\Delta^\circ$	$\Omega_0$ , $10^{-4}$ Мс	$f_p$ , $10^{-2}$ Гц	$f_0$ , $10^{-2}$ Гц	$M_0$ , $10^{19}$ Н·м	$L$ , $10^3$ м	$\Delta\sigma$ , $10^5$ Н/м <sup>2</sup>	$\bar{\eta}\sigma$ , $10^5$ Н/м <sup>2</sup>	$\bar{u}$ , м
08.10	03 50 38.9	OBV	32.7	3.31	5.8	10.7	8.2	46	29	67	1.41

Дополним эти наблюдаемые данные расчетными по формуле из [19, 20]:

$$\lg L \text{ (км)} = 0.5 M - 2,$$

которая при значении магнитуды  $M=7.6$  дает  $L=63$  км. В итоге получен следующий набор значений протяженности  $L$  очага: 46, 63, 75, 98 и 130 км, из которых по совокупности всей информации и исходя из того, что протяженность очага не может быть меньше видимого разрыва, можно отдать предпочтение размеру  $L=98$  км. Тогда оценка по спектрам оказывается заниженной более чем в два раза. Если же взять максимальную длину 130 км (по всей области начальных афтершоков), то занижение получится в 2.8 раза.

Что касается полученного размера площади начальных афтершоков  $S_{\text{афт.}}=7470$  км<sup>2</sup>, сравним ее с некоторыми расчетными оценками площади афтершоков по опубликованным формулам:

$$\lg S \text{ (см}^2\text{)} = M + 6 \text{ [21]},$$

$$\lg S \text{ (см}^2\text{)} = M + 6.3 \text{ [22]},$$

из которых следует, что  $S_{\text{афт. 1}}=3980$  км<sup>2</sup> и  $S_{\text{афт. 2}}=7940$  км<sup>2</sup> соответственно. Вторая формула лучше подходит к афтершокам Пакистанского землетрясения, что, возможно, связано с тем, что она получена для района Таджикистана, близкого к очаговой зоне исследуемого землетрясения.

Итак, по изложенным выше материалам протяженность очага Пакистанского землетрясения 8 октября с  $M_w=7.6$  около  $L \approx 100$  км, ширина  $d \approx 65$  км, площадь проекции очага на дневную поверхность  $S_{\text{афт.}} \approx 7.5 \cdot 10^3$  км<sup>2</sup>.

Глубины очагов афтершоков целесообразно оценить по наиболее точным их значениям по фазе  $pP$ , общее число которых в диапазоне  $h_{pP}=9-32$  км (табл. 6) составило  $N(h_{pP})=81$  за период наблюдений до конца 2005 г.

**Таблица 6.** Распределение афтершоков с известными глубинами очагов  $h_{pP}$  по фазе  $pP$

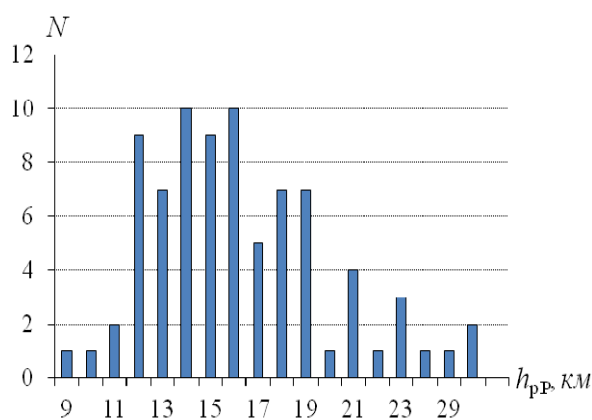
$h$ , км	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	26	29	32
$N(h_{pP})$	1	1	2	9	7	10	9	10	5	7	7	1	4	1	3	1	1	2

Графическое представление этих данных на рис. 9 свидетельствует, что чаще всего очаги афтершоков реализовались в слое  $h_{pP}=12-19$  км. Главный толчок характеризуется значением  $h_{pP}=16$  км.

Эти данные можно привлечь для оценки размера объема очага. Согласно табл. 5, нижняя граница  $h_{pP}$  за указанный период времени равна 32 км. Тогда объем очага равен

$$V, \text{ км}^3 = S \cdot h = 7470 \times 32 = \sim 239 \cdot 10^3 \text{ км}^3.$$

Особый интерес представляет измерение азимута простирания области начальных афтершоков, который оказался равным  $AZM=320^\circ$ , т.е. почти точно на северо-запад. К этому азимуту близко простирание нодальной плоскостей  $NPI$  в решении HRVD,



**Рис. 9.** Гистограмма распределения глубин  $h_{pP}$  афтершоков по данным наблюдений за 08.10–31.12.2005 г.

т.к. оно определяется углом  $STK_1_{HRVD}=334^\circ$ . Это решение механизма очага главного толчка и ориентация вытянутости области начальных афтершоков согласуются с разрывом (рис. 7), вышедшим на поверхность.

**Размер очаговой области**, точнее ее проекции на дневную поверхность, можно оценить в какой-то мере по площади, занимаемой эпицентрами основной массы афтершоков. Из графиков затухания афтершоков на рис. 6 а и 6 б видно, что для этого достаточно рассмотреть период наблюдений за октябрь–декабрь 2005 г. Карта эпицентров этих афтершоков приведена на рис. 10.

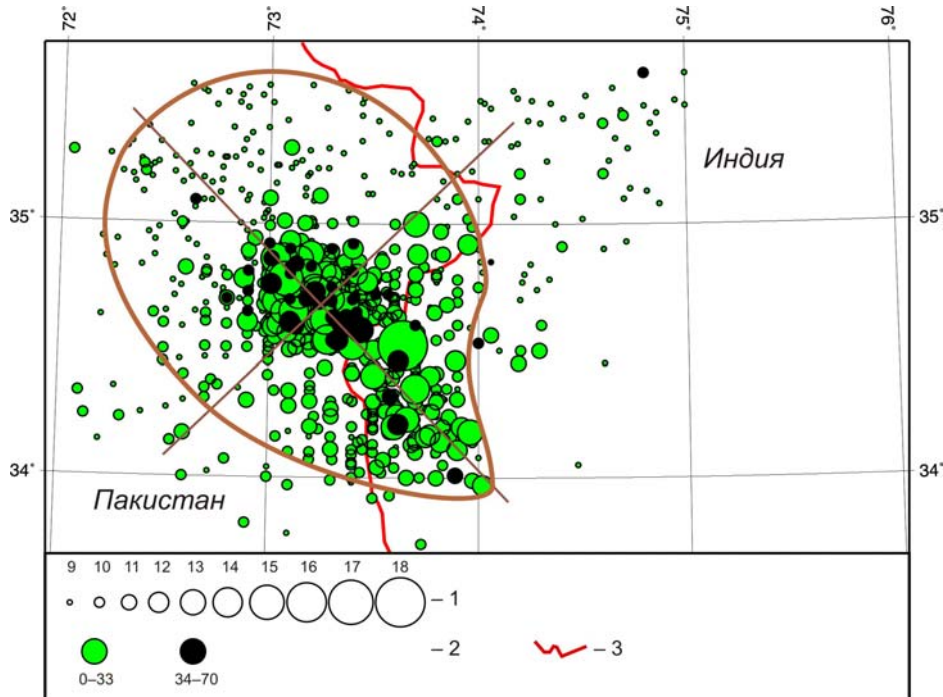


Рис. 10. Поле афтершоков Пакистанского землетрясения за 08.10–31.12.2005 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – государственная граница.

Как видим, размеры поля афтершоков за указанный период, относительно такового за первые 20<sup>д</sup> (рис. 8), значительно возросли. Особенно велико расхождение процесса на уровне самых слабых ( $K_p=9$ ) афтершоков. Большая часть всех афтершоков заполнила и дополнила область основного разрыва при главном толчке северо-западного простирания  $AZM=315^\circ$ . В то же время вся среда как-бы возвращается в прежнюю систему напряжений с преимущественной локацией новых мелких разрывов на уровне  $K_p=9-10$  в области восток–северо-восточной ориентации с азимутом  $AZM=60^\circ$ . При этом хорошо видно разделение всего облака эпицентров на два массива относительно эпицентра главного толчка. К юго-востоку от него плотность эпицентров афтершоков значительно меньше, чем к северо-западу, и здесь же заметно экранирование процесса афтершоков в направлении на северо-восток относительно продольной оси области афтершоков, где видим почти пустое поле и вследствие этого деформацию фигуры эллипса, тогда как к юго-западу от продольной оси афтершоков много. Размер продольной оси всей области афтершоков, которую можно отождествить с очаговой зоной, составил к 31 декабря 2005 г. 218 км, поперечный – 138 км, которые превысили соответствующие размеры очага Пакистанского землетрясения в 1.7 и в 2 раза. Площадь, занимаемая очаговой зоной, составила

$$S_{\text{оч. зоны}} = 22214 \text{ км}^2$$

и превышает площадь очага в примерно в 3 раза ( $22214 \text{ км}^2 : 7470 \text{ км}^2 = 2.97$ ). Эти оценки достаточно достоверны ввиду четкой пространственной картины процесса афтершоков на фоне слабой плотности эпицентров местных землетрясений.

**Сокращение области афтершоков** можно оценить, анализируя последовательные во времени карты эпицентров афтершоков в 2006 и 2007 гг. (рис. 11 а, б).

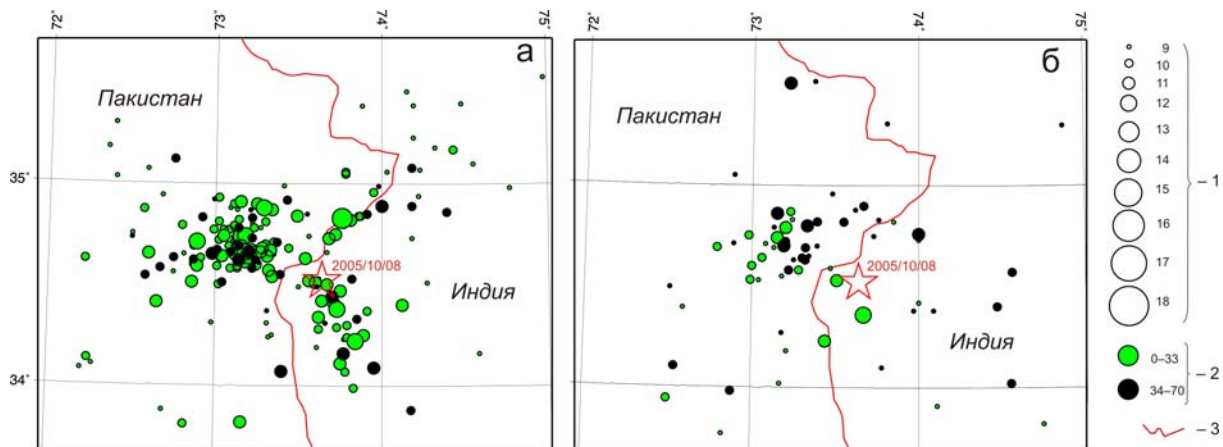


Рис. 11. Поле афтершоков Пакистанского землетрясения за 2006 г. (а) и 2007 г. (б)

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – государственная граница.

Как видим, тенденции в развитии процесса сохранились и обозначились еще определеннее. Облако афтершоков в 2006 г. вообще разделилось в пространстве на две части (рис. 11 а) с сохранением их свойств: к юго-востоку от главного толчка плотность афтершоков заметно ниже, нежели к северо-западу от него. Еще более заметным стало изменение конфигурации и простираения области афтершоков и фоновых событий в восток–северо-восточном направлении. Новым свойством в зарегистрированной в 2006 г. совокупности афтершоков является относительное заглубление афтершоков, которое еще более заметно в 2007 г. (рис. 11 б).

**Механизмы очагов афтершоков** определены для 41-го из них [2, 23], их эпицентры показаны на рис. 12.

Как видим, почти все определения механизмов выполнены для афтершоков с эпицентрами к северо-западу от главного толчка и только три эпицентра (№№ 16, 30, 41) не входят в это облако (рис. 12).

Рассмотрим их отдельно. Самый крайний к юго-западу афтершок под № 30 зарегистрирован 26 октября 2005 г. в 01<sup>h</sup>42<sup>m</sup> с  $M_w=4.8$ ,  $K=11.6$ ,  $h_{pP}=16$  км [23]. В его очаге по близширотной пологой ( $DP=32^\circ$ ) плоскости  $NP1$  произошел левосторонний сдвиг с небольшой взбросовой составляющей, а по более крутой ( $DP=70^\circ$ ) юго-восточного простираения ( $STK=140^\circ$ ) – взброс с компонентами правостороннего сдвига. Для более близкого к главному толчку афтершока № 16 (9 октября в 19<sup>h</sup>20<sup>m</sup> с  $M_w=5.4$ ,  $K=14.3$ ,  $h_{pP}=14$  км) обе плоскости близширотны (рис. 13) с одинаковым типом подвижки – почти чистый взброс. Сдвиговые компоненты незначительные (правосторонний – по  $NP1$  и левосторонний – по  $NP2$ ). Удаленный афтершок № 41 возник в 2006 г. (20 марта в 17<sup>h</sup>40<sup>m</sup> с  $M_w=5.2$ ,  $K=13.1$ ,  $h_{pP}=17$  км), сохраняя в очаге взбросовый тип подвижки, имеет уже непохожую ориентацию нодальных плоскостей (рис. 13), и, скорее всего, его следует исключить из исследуемой серии.

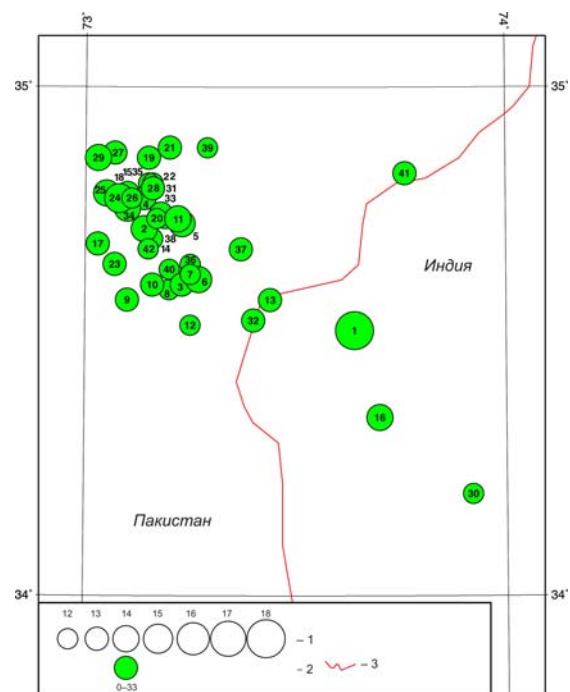


Рис. 12. Карта эпицентров афтершоков Пакистанского землетрясения с известными [23] механизмами очагов

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – государственная граница.

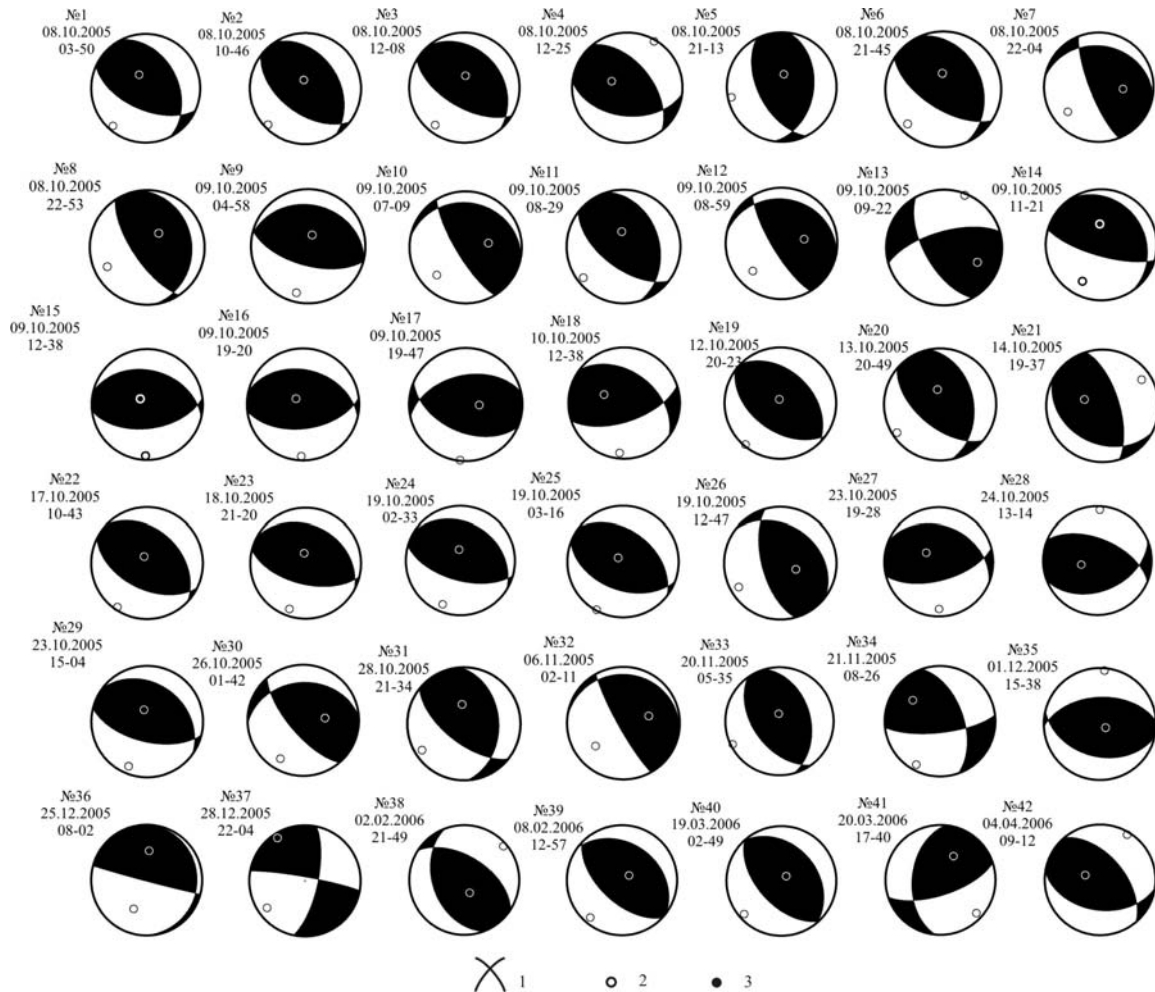


Рис. 13. Стереогаммы механизмов очагов главного толчка (№ 1) и афтершоков за 2005 г. (№№ 2–37) и 2006 г. (№№ 38–42) (определений механизмов в 2007 г. нет, номера стереогамм соответствуют таковым в [2, 23])

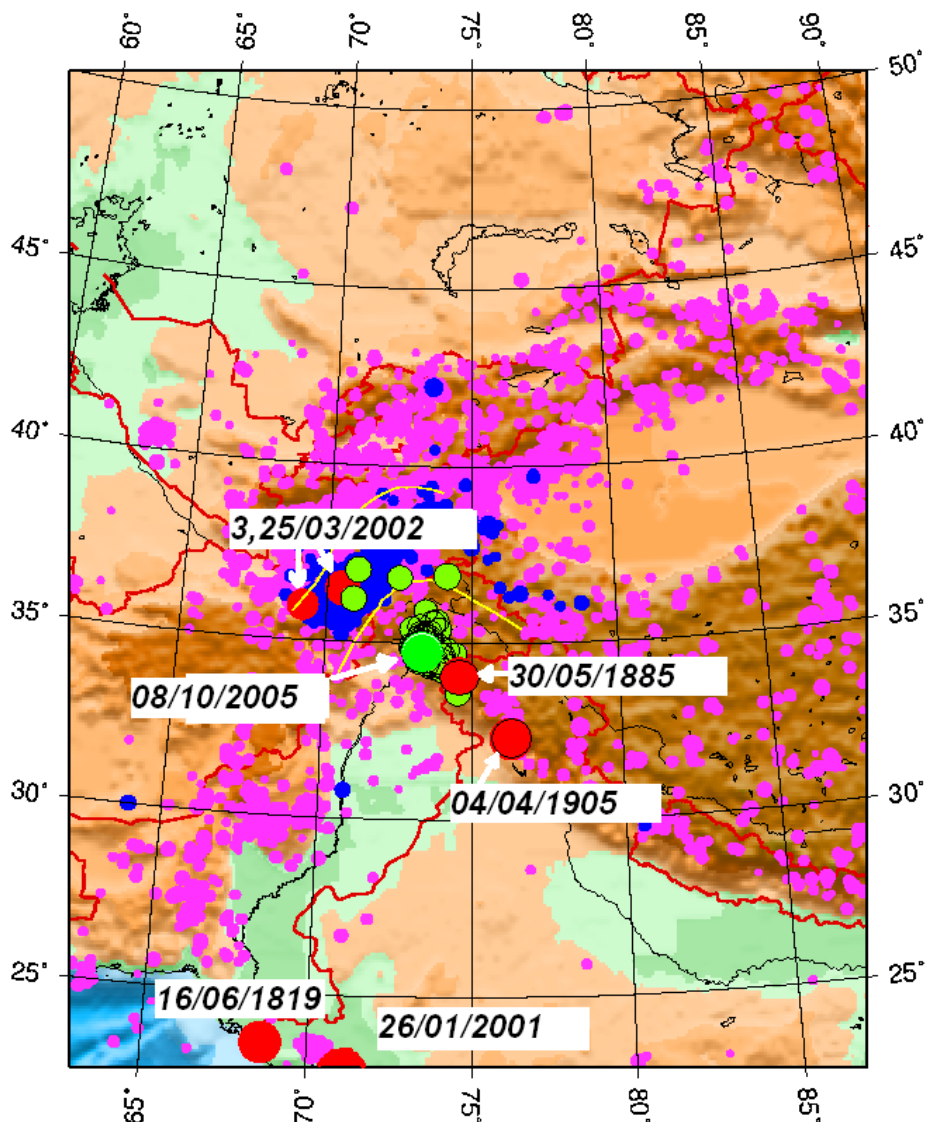
Самой общей характеристикой системы напряжений в очагах почти всех афтершоков является факт преобладания напряжений сжатия. Исключение составляет лишь афтершок № 37 (28 декабря 2005 г. в 22<sup>h</sup>07<sup>m</sup> с  $M_w=5.1$ ), в очаге которого превалировали напряжения растяжения ( $PL_p=17^\circ$ ,  $PL_T=9^\circ$  [23]). Еще в двух очагах они равны или близки: № 36 (25 декабря в 08<sup>h</sup>02<sup>m</sup> с  $M_w=5.2$ ) –  $PL_p=42^\circ$ ,  $PL_T=46^\circ$ ; № 32 (6 ноября 2005 г. в 02<sup>h</sup>11<sup>m</sup> с  $M_w=5.1$ ) –  $PL_p=36^\circ$ ,  $PL_T=51^\circ$ .

Во всех других очагах, так же, как и в очаге главного толчка (№ 1), преобладали напряжения сжатия и движения типа взброс по обеим нодальным плоскостям, осложненные большей частью сдвигами, правосторонними – по плоскости  $NP1$  и левосторонними – по  $NP2$  (№№ 1–3, 5, 6, 8, 11, 14–16, 18–20, 22–25, 27, 29, 31, 33–35, 38), или наоборот, правосторонними – по плоскости  $NP2$  и левосторонними – по  $NP1$  (№№ 4, 7, 10, 12, 17, 21, 26, 28, 30, 32, 39, 41, 42). Чистый взброс по обеим плоскостям реализовался лишь однажды в очаге № 40 (19 марта 2006 г. с  $M_w=4.9$ ). Взброс по пологим плоскостям классифицируется, как надвиг, который характеризует очаги афтершоков (№№ 7, 10, 12, 32, 36). Простирающие плоскости в очагах многих афтершоков (№№ 2–4, 6, 11, 14, 19–22, 24–26, 33, 40), как и в очаге (№ 1) главного толчка, с юго-востока на северо-запад. Значительно меньше случаев (№№ 15–17, 27, 28, 35) широтного простирающего нодальных плоскостей и еще меньше (№№ 5, 8, 31) – меридионального. Можно отметить, что очаги с близширотной ориентацией плоскостей сгруппированы в северной части облака афтершоков.

**Сейсмическая история.** За последние 150 лет, по данным Индийского метеорологического агентства (<http://www.imd.ernet.in>), наиболее значительные землетрясения в этом районе в прошлом происходили 30 мая 1885 г. с магнитудой 7.0, 4 апреля 1905 г. с магнитудой 8.0 и



в марте-апреле 2002 г. с магнитудами 5.6–7.3. Воспользуемся картой эпицентров, опубликованной в [1] (рис. 14). Она построена по данным Сейсмологического бюллетеня ГС РАН за 1955–2005 гг.



**Рис. 14.** Эпицентры главного толчка Пакистанского землетрясения 2005 г. и сильных его афтершоков (зеленый цвет) на фоне карты эпицентров коровых (лиловый цвет) и глубоких (синий цвет) землетрясений Азии за 1955–2005 гг.; сильные землетрясения прошлых лет изображены красным цветом (из [1]) (см. CD)

Некоторые из указанных на рис. 14 сильных землетрясений были рассмотрены в отдельных статьях Сборника. Рассмотрим их более подробно. Это Гиндукушское землетрясение 03.03.2002 г. с  $M_w=7.3$  [24] и Афганские землетрясения в марте-апреле 2002 г. [25].

Гиндукушское землетрясение 3 марта 2002 г. с  $K_p=16.4$  [1],  $M_w=7.3$  [2], несмотря на глубокий очаг ( $h=180$  км), было разрушительным. Погибли, по меньшей мере, 150 человек, были ранены. В Афганистане, в провинции Саманган, около 400 домов повреждены или разрушены оползнем, который перекрыл и затопил долину Суркундара. Ощущалось землетрясение на большей территории Афганистана, Пакистана, Таджикистана (в Душанбе – 6 баллов), на юге Узбекистана (в Карши, Самарканде и Ташкенте – 5 баллов; в Андижане и Наманган – 4 балла), в Кыргызстане (в Оше – 5 баллов; в Баткене, Суфи-Кургане – 4 балла; в Бишкеке – 3 балла), в Казахстане (в Чимкенте, Таразе и Джамбуле – 3 балла). Землетрясение 3 марта весьма интересно тем, что оно сопровождалось значительной серией афтершоков, что наблюдается только для сильных ( $M>7$ ) глубоких землетрясений.



Глубокое землетрясение 3 марта с  $M_w=7.3$  спровоцировало серию разрушительных землетрясений с очагом в земной коре, произошедших 25 марта с  $M_w=6.1$ , 27 марта с  $M_w=5.6$  и 12 апреля с  $M_w=5.9$  [25]. Первое из них – самое сильное. После него в провинции Афганистана Баглан погибли, по меньшей мере, около 1000 жителей, несколько сотен ранено и несколько тысяч людей остались без крова. Многие дороги в эпицентральной области были блокированы оползнями. Интенсивные сотрясения имели место во всем Северном Афганистане. Также его ощущали в Пакистане на территории Исламабад-Пешавар. На территории Таджикистана макросейсмический эффект проявился с интенсивностью  $I=3-4$  балла в Душанбе (300 км), 3 балла – в Нуреке (305 км). Землетрясение 27 марта вызвало в Афганистане новые потери, дополнительные оползни и разрушения. После третьего землетрясения, произошедшего 12 апреля северо-восточнее двух первых, в провинции Аби-Нарин Афганистана, погибли около 50 человек, ранены – 150, 160 домов разрушено и 250 повреждено. Оно ощущалось на территории Пакистана (в Исламабаде, Лахоре и Пешаваре), в Таджикистане, Узбекистане и Казахстане.

И, наоборот, Пакистанское землетрясение 8 октября 2005 г. спровоцировало достаточно сильное ( $M_w=6.5$ ) глубокое ( $h=224$  км) Гиндукушское землетрясение 12 декабря 2005 г. [26], в результате которого погибли 5 человек (в Тили), убиты свыше 300 голов рогатого скота и разрушены 100 домов в Бадахшане. Интенсивность сотрясений  $I=5$  баллов в Чарикаре, в Кабуле – 4 балла, в Баграми – 3 балла. В Пакистане сотрясения с интенсивностью 5 баллов имели место в Читрале, Лахоре, 4 балла – в Аттабаде и Исламабаде. В Индии разрушены несколько домов в Барамуле, Фарьябаде и Ури, землетрясение ощущалось с интенсивностью 4 балла в Чандигаре, было заметно в Армитсарей, Нью-Дели. В Таджикистане оно ощущалось в Душанбе и Нуреке 5 баллов, Джиргатале – 4–5 баллов, Игроне – 4 балла и в Гарме – 3–4 балла [26].

#### Л и т е р а т у р а

1. Информационное сообщение о катастрофическом землетрясении в Пакистане 8 октября 2005 года // [http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/info\\_quake.pl?mode=1&id=71](http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/info_quake.pl?mode=1&id=71)
2. Bulletin of the International Seismological Centre for 2005. – Berkshire: ISC, 2007.
3. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2005 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2005–2006.
4. Улубиева Т.Р. (отв. сост.), Рислинг Л.И., Давлятова Р., Михайлова Р.С., Улубиев А.Н., Хусейнова Г.А. Каталог землетрясений Таджикистана за 2005 год ( $N=3020$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
5. Шебалин Н.В. Об оценке сейсмической интенсивности // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. – М.: Наука, 1975. – С. 87–109.
6. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
7. Чепкунас Л.С., Малянова Л.С. Очаговые параметры сильных землетрясений Земли. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
8. Kaneda, H., Nakata, T., Tsutsumi, H., Kondo, H., Sugito, N., Awata, Y., Akhtar, S.S., Majid, A., Khattak, W., Awan, A.A., Yeats, R.S., Hussain, A., Ashraf, M., Wesnousky, S.G., Kausar, A.B. Surface rupture of the 2005 Kashmir, Pakistan, Earthquake and its active tectonic implications // Bull. Seismol. Soc. Am. – 2008. – 98. – P. 521–557.
9. Kumahara H. and Nakata T. Active faults in the epicentral area of the 2005 Pakistan earthquake // Токио: Hiroshima University Research Center for Regional Geography Special Publication, 2006. – 41. – 54 p.
10. Sayab M., Khan M.A. Temporal evolution of surface rupture deduced from coseismic multi-mode secondary fractures: Insights from the October 8, 2005 ( $M_w$  7.6) Kashmir earthquake, NW Himalaya// Tectonophysics. – 2010. – N 493. – PP. 58–73.
11. Philip H., Meghraoui M. Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of October 10, 1980 // Tectonics. – 1983. – 2. – P. 17–49.
12. Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Эль-Аснамское землетрясение в Алжире 10 октября 1980 года // Макросейсмические и инструментальные исследования сильных землетрясений (Вопросы инженерной сейсмологии). – Вып. 26. – М.: Наука, 1985. – С. 57–73.

13. Lee J.C., Rubin C., Mueller K., Chen Y.G., Chan Y.C., Sieh K., Chu H.T., Chen W.S. Quantitative analysis of movement along an earthquake thrust scarp: a case study of a vertical exposure of the 1999 surface rupture of the Chelungpu fault at Wufeng, Western Taiwan // *J. Asian Earth Sci.* – 2004 – **23**. – P. 263–273.
14. Kondo H., Nakata T., Akhtar S.S., Wesnousky S.G., Sugito N., Kaneda H., Tsutsumi H., Khan F.M., Khattak W., Kausar A.B. Long recurrence interval of faulting beyond the 2005 Kashmir earthquake around the northwestern margin of the Indo-Asian collision zone // *Geology*. – 2008. – N 9. – P. 731–734.
15. Khan P.K., Mohanty S., Mohanty M. Geodynamic Implications for the 8 October 2005 North Pakistan Earthquake // *Springer, Surv. Geophys.* – 2010. – 31. – P. 85–106.
16. Улубиева Т.Р., Артёмова Е.В. (отв. сост.), Михайлова Р.С. Афтершоки ( $N=1367$ ) Пакистанского землетрясения 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$ ,  $K_p=17.7$ ,  $I_0=9-10$  (южнее Таджикистана). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
17. Шибаев С.В., Петров А.Ф., Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Тимиршин К.В., Петрова В.Е., Гилёва Н.А., Пересыпкин Д.М. Чаруодинский рой землетрясений 2005 года и его ощутимые Чаруодинское-I 10 ноября в  $19^h29^m$  с  $K_p=15.7$ ,  $M_w=5.8$ ,  $I_0=8$  и Чаруодинское-II 11 декабря в  $15^h54^m$  с  $K_p=14.8$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Южная Якутия). См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
18. Utsu Tokuji. On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958 // *Bull. Seism. Soc. Am.* – 1962. – **52**. – N 2. – P. 279–297.
19. Пшеничников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
20. Utsu Tokuji. Magnitude of Earthquakes and Occurrence of their Aftershocks // *Zisin.* – 1957. – **10**. – N 1. – Second series.
21. Utsu Tokuji, Seki A. A relation between the Area of Aftershock Region and the Energy of Mainshock // *Zisin.* – 1954. – **7**. – P. 233.
22. Каток А.П. Повторные толчки и их влияние на параметры сейсмического режима // *Динамика земной коры*. – М.: Наука, 1965. – С. 15–26.
23. Михайлова Р.С. (сост.). Параметры механизмов очагов афтершоков ( $N=33$ ) Пакистанского землетрясения 8 октября 2005 г. с  $M_w=7.6$ . (См. Приложение к наст. сб. на CD).
24. Михайлова Р.С., Улубиева Т.Р., Чепкунас Л.С. Гиндукушское землетрясение 3 марта 2002 года с  $M_w=7.3$ ,  $I_0=8$  (южнее Таджикистана) // *Землетрясения Северной Евразии, 2002*. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 331–336.
25. Михайлова Р.С., Улубиева Т.Р., Чепкунас Л.С. Землетрясения 25 марта с  $M_w=6.1$ , 27 марта с  $M_w=5.6$ , 12 апреля 2002 г. с  $M_w=5.9$  (южнее Таджикистана) // *Землетрясения Северной Евразии, 2002*. – Обнинск: ГС РАН. 2008. – С. 337–342.
26. Улубиева Т.Р., Михайлова Р.С., Рислинг Л.И. Таджикистан. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).