

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 14 ФЕВРАЛЯ 2005 г. с $MW=6.3$, $I_0=7-8$ (Центральная Азия)**К.Д. Джанузаков¹, Р.С. Михайлова², Н.А. Калмыкова³**¹Институт сейсмологии НАН Республики Кыргызстан, г. Бишкек, kis@mail.elkat.kg²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, raisa@gstras.ru³Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы, kalmykova@mail.kz

14 февраля 2005 г. в 23^h38^m на границе Кыргызстана с Китаем произошло сильное землетрясение с магнитудой $MS=6.3$ [1], локализованное в северо-восточных отрогах хр. Кокшаал-Тоо. По данным NEIC [2], в Китайской провинции Вуши было разрушено или повреждено свыше 6000 зданий и сооружений. В Кыргызстане интенсивность сотрясений составила 5–6 баллов в Энылчек (35 км), 5 баллов – в Кенсу (70 км) и Каракол (125 км) [3]; в Казахстане – 4–5 баллов в г. Алматы (240 км) [4]. Эти пункты показаны на рис. 1. Интенсивность I_0 сотрясений в эпицентре, вычисленная по уравнению макросейсмического поля Н.В. Шебалина для Средней Азии [5]:

$$I_0 = 1.5 M - 3.5 \lg h + 3.0,$$

при магнитуде $MS=6.3$ [1] и глубине очага по глубинной фазе pP $h=31$ км (табл. 1, [2]), равна $I_0=7.7$.

Региональные решения его параметров, полученные в Бишкеке [3] и Алмате [4], разнятся и по величине энергетического класса ($K_p=14.9$ и 14.3), и по локации эпицентра: $41.90^\circ N$, $79.50^\circ E$ [3]; $41.80^\circ N$, $79.18^\circ E$ [4]. Другие решения даны в табл. 1 и изображены на рис. 1.

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$ по данным Кыргызстана (ЦА) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
ЦА	23 38 09.9	0.3	41.90	0.05	79.50	0.05			$K_p=14.9$, $M=6.1$ ($K-4/1.8$)	[3]
СОМЭ МОН, ИГИ НЯЦ	23 38 09.5	0.3	41.80	0.25	79.18	0.25			$K_p=14.3$, $MLH=5.9/4$, $MPVA=6.7/17$	[4]
NNC	23 38 11.6	2.5	42.00		79.28		12	12	$MPV=6.1$	[2]
MOS	23 38 07.4	0.9	41.76		79.40		24		$MS=6.3/49$, $MPSP=6.3/89$	[1]
ISC	23 38 08.4	0.1	41.67	0.02	79.34	0.02	31 31*	0.9*	$M_s=6.1/191$, $m_b=6.0/297$, * h_{pP}	[2]
NEIC	23 38 08.7	0.1	41.73		79.44		22		$M_s=6.2/138$, $m_b=6.1/204$, $M_w=6.0$	[2]
ВЛ	23 38 09.5		41.66		79.57		27		$M_s=6.2$, $M_{sz}=6.0$, $m_b=5.5$, $m_B=5.9$	[2]
IDC	23 38 09.1	2.5	41.72		79.44		26	15	$M_s=6.1/21$, $m_b=5.5/39$	[2]
HRVD	23 38 08.7	0.1	41.72		79.27		23		$M_w=6.1/70$, ($K^p=4+1.8M=15.0$)	[2]

Как видим, ближе всех к решению Кыргызстана находятся данные агентства NNC, но они оба расположены севернее всех остальных. Решения агентств MOS, ISC, IDC и HRVD весьма близки между собой и недалеко от решения Казахстана. К этой же группе принадлежит и решение ВЛ, хотя оно и смещено к юго-западу. Оценки глубины гипоцентра основного толчка варьируют от 12 до 31 км. Нижняя граница этого диапазона $h=31$ км выявлена по фазе pP^* , что, как правило, близко к истинному решению. Тогда следует признать, что главный толчок достаточно глубокий.

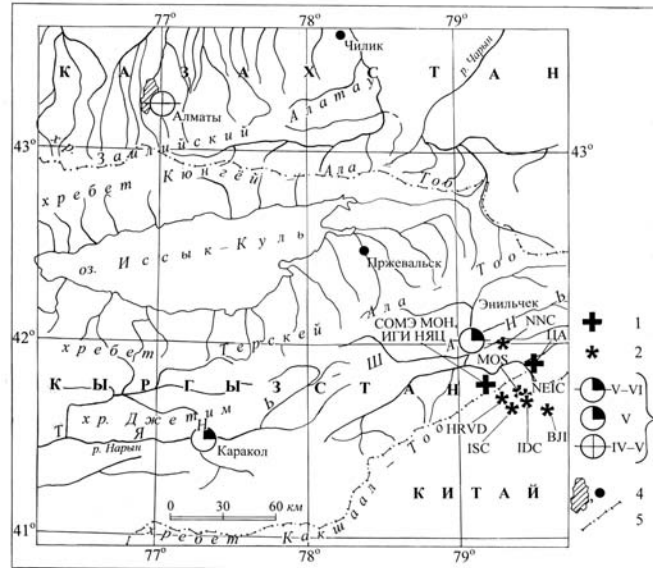


Рис. 1. Решения эпицентра землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$ по данным разных агентств

1 – инструментальные эпицентры по [3, 4]; 2 – решения других агентств; 3 – балльность по шкале [6]; 4 – Алмата и другие населенные пункты соответственно; 5 – государственная граница Кыргызстана.

Механизм очага главного толчка. Разные решения механизма очага главного толчка приведены в табл. 2. Решение HRVD получено методом тензора момента центра (ТМЦ), остальные три – по знакам первых вступлений P -волн, зарегистрированным высокочувствительными аналоговыми станциями Центральной Азии (ЦА), цифровыми широкополосными станциями ВВ (NEIC) и разными станциями (MOS). Соответствующие четыре стереограммы даны на рис. 2.

Таблица 2. Варианты параметров механизма очага землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	M_w	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
						T		N		P		$NP1$			$NP2$		
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
ЦА [7]	14.02	23 38 09.5			14.9	45	255	43	61	6	158	35	65	40	285	54	149
MOS [1]			24	6.2		51	350	1	82	39	173	272	7	100	82	84	89
HRVD [2]			23	6.1		49	340	9	80	40	177	321	10	152	79	85	81
NEIC [2]			22	6.0		51	339	11	82	37	181	320	13	148	81	83	79

Согласно каталогу механизмов очагов Центральной Азии [7], одна из плоскостей разрыва ($NP1$) в его очаге простирается на северо-восток ($STK=35^\circ$), другая – на запад-северо-запад ($STK=285^\circ$) (рис. 2). Обе плоскости – крутые ($DP_1=65^\circ$, $DP_2=54^\circ$): первая падает на юго-восток, а вторая – на север-северо-восток. При этом превалирующие напряжения сжатия (угол с горизонтом $PL=6^\circ$) ориентированы на юг-юго-восток ($AZM=158^\circ$), а напряжения растяжения – на запад-юго-запад ($AZM=255^\circ$, угол с горизонтом $PL=45^\circ$). Подвижка по обеим плоскостям типа сдвига-взброс: по более крутой плоскости $NP1$ – левосторонний сдвиг, по более пологой плоскости $NP2$ – правосторонний.

Но три другие решения (MOS, HRVD, NEIC) заметно отличаются от регионального (рис. 2) прежде всего тем, что сжимающие и растягивающие напряжения близки по величине и ориентированы с севера на юг. При этом одна из нодальных плоскостей ($NP1$) – пологая ($DP=7, 10$ и 13°), другая ($NP2$) – близвертикальная ($DP=84, 85$ и 83°). Тип подвижки по решению MOS – чистый взброс по крутой плоскости $NP2$ близширотного простираения и надвиг по пологой плоскости $NP1$ близмеридионального простираения. По другим двум решениям получены почти такие же типы подвижек с незначительными компонентами левостороннего сдвига по крутым плоскостям и правостороннего – по пологим.

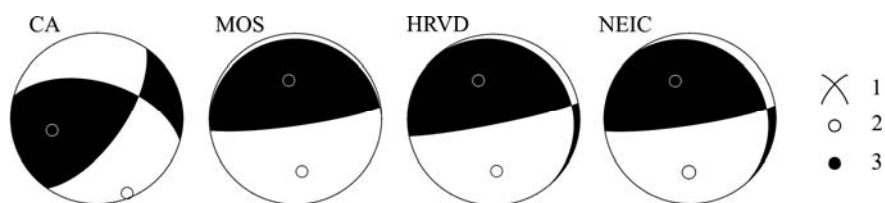


Рис. 2. Стереогаммы механизма очага землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$ в проекции нижней полусферы по данным разных агентств

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

Область исследований процессов подготовки, реализации и последствия землетрясения 14 февраля на первом этапе выбрана достаточно большая. Граничные значения широты и долготы равны: $\varphi=39.00-43.50^{\circ}N$, $\lambda=77.00-81.70^{\circ}E$ (рис. 3). В пределах этих координат были выбраны все землетрясения из пяти источников [1–4, 8]. За весь год в выбранной трапеции было зарегистрировано 515 землетрясений, но информация о них заняла не 515, а 726 строчек, т.к. для многих землетрясений было несколько решений. Выбор единственного решения – экспертный, с учетом значений ошибок определения параметров, степени доверия к источнику и др. Эпицентры землетрясений составленного в итоге каталога [9] изображены на рис. 3, на котором хорошо видны главный толчок на границе Кыргызстана с Китаем и его афтершоки.

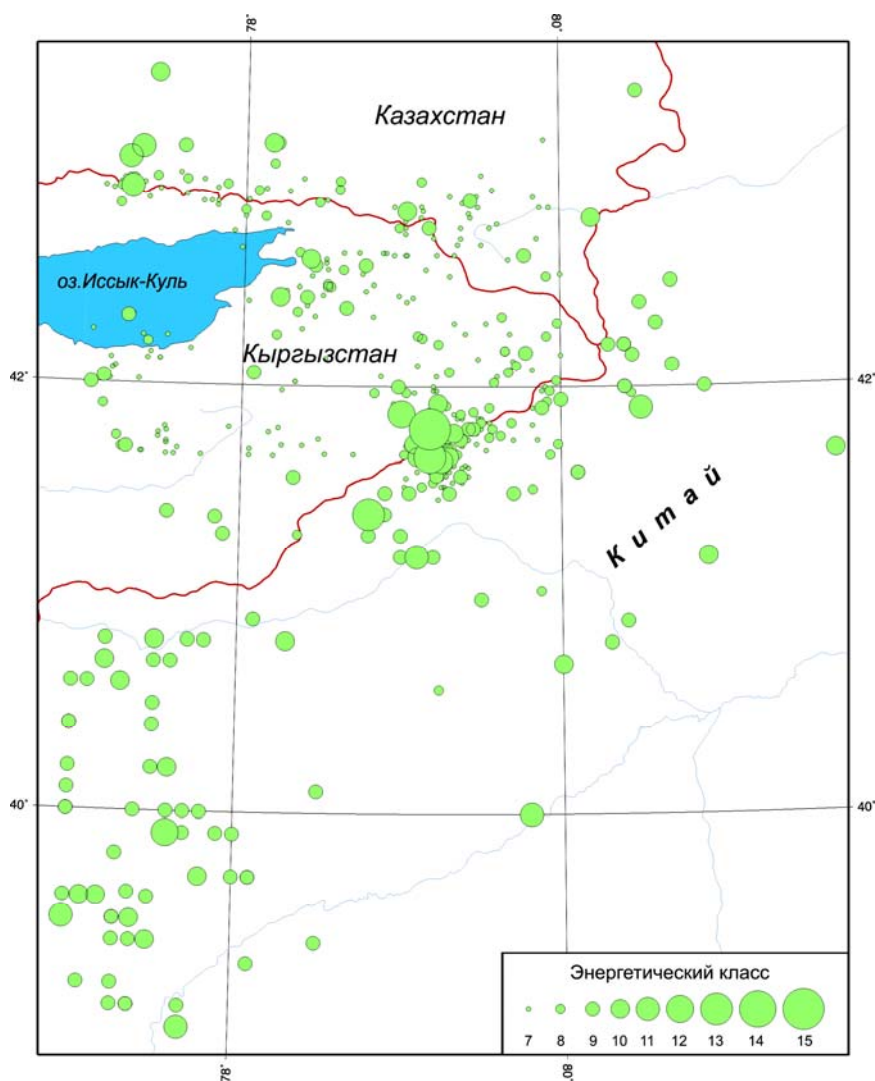


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений в очаговой зоне главного толчка 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$

Очаговая зона землетрясения 14 февраля достаточно хорошо выделяется на рис. 4.

Это прежде всего область афтершоков вблизи главного толчка, имеющая форму, близкую к эллипсу с осями 37х61 км, а также поле эпицентров вокруг области афтершоков, плотность которых ниже, чем в области афтершоков, но выше, чем на более удаленных площадках. Она также образует в плане фигуру, близкую к эллипсу с осями 99х148 км и азимутом большой оси эллипса, равным $AZM=37^\circ$. Более того, вне этого, уже внешне, эллипса можно усмотреть пространственное кольцо небольшой ширины без эпицентров, что облегчает оконтуривание «рабочей» очаговой зоны.

Землетрясение 14 февраля имело форшоки, список которых приведен в табл. 3.

Таблица 3. Основные параметры форшоков и главного землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	MPVA	K_p
			φ° , N	λ° , E			
Форшоки							
1	16.01	19 26 50.6	*41.80	79.45	4.1	8.9	
2	16.01	23 29 43.8	*41.88	79.45	3.5	8.2	
3	18.01	16 04 05	41.68	79.93	2.5	8.1	
4	19.01	06 28 16.5	41.87	79.00	5.4	12.1	
5	20.01	13 51 00.9	41.97	79.08	3.2	7.3	
6	21.01	21 39 22	42.20	79.23	2.5	8.1	
7	23.01	19 42 34.8	41.50	79.70	15	8.9	
Основной толчок							
	14.02	23 38 09.5	41.80	79.18		6.7	15.0^p

Максимальный форшок возник 19 января в 17 км северо-западнее будущего главного толчка и характеризуется значением $K_p=12.1$, т.е. величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным форшоком равна

$$K_{\phi}=14.9^p-12.1=2.8.$$

Как следует из карты эпицентров форшоков на рис. 5, они расположены в основном севернее главного толчка, причем максимальный из них является граничным слева.

Главный толчок 14 февраля в 23^h38^m вызвал после себя достаточно активный афтершоковый процесс, в первые сутки после него зарегистрирован 61 афтершок [10]. Как следует из карты их эпицентров на рис. 6 а, за этот день образовалась в плане почти изометрическая фигура. Практически все афтершоки расположились западнее главного толчка, в пространстве между максимальным форшоком и главным толчком. Такая же форма области афтершоков сохранилась в последующие дни – с 16 по 28 февраля (рис. 6 б). При этом во всей остальной части очаговой области наблюдается затишье.

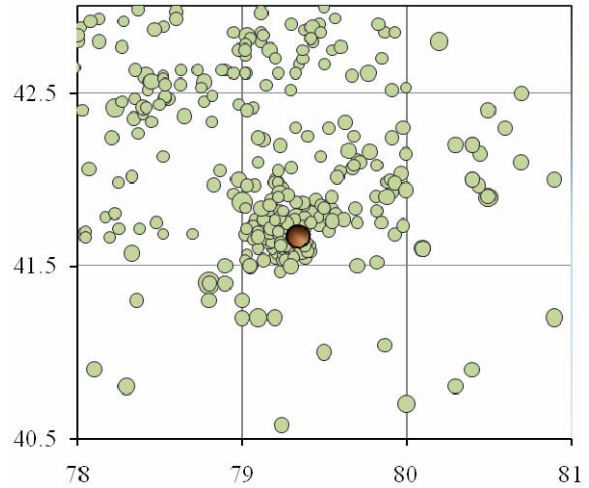


Рис. 4. Очаговая зона землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$

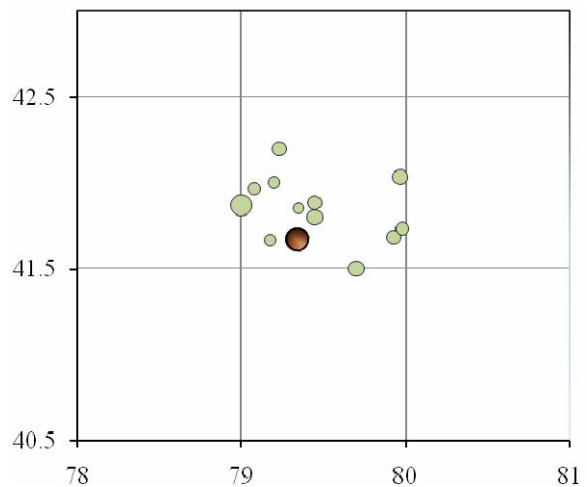


Рис. 5. Карта эпицентров форшоков землетрясений 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$

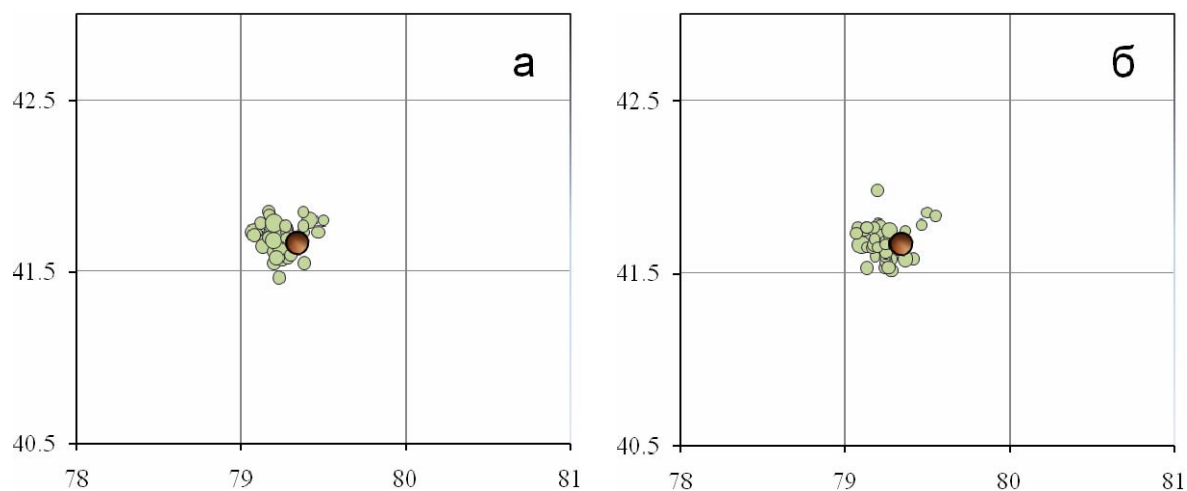


Рис. 6. Карты эпицентров афтершоков за 15 февраля (а) и за 16–28 февраля (б) 2005 г.

Но уже в марте начинается процесс расхождения афтершоков, появляются более удаленные (к северо-востоку) афтершоки (рис. 7 а). Еще заметнее это явление наблюдается в апреле с возникновением афтершоков как северо-восточнее, так и юго-западнее главного толчка (рис. 7 б).

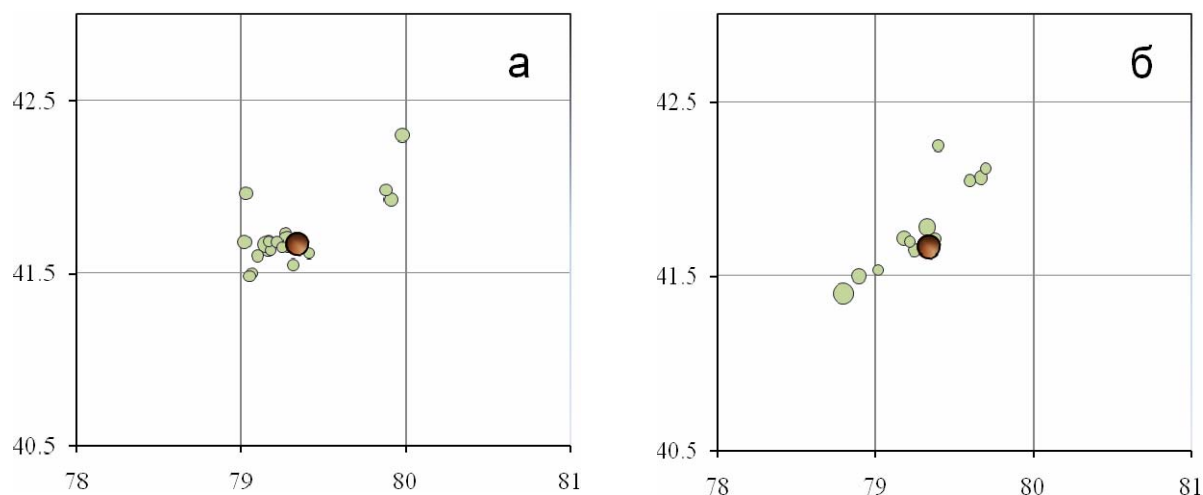


Рис. 7 а. Карта эпицентров афтершоков за март (а) и апрель (б) 2005 г.

Впоследствии афтершоки стали возникать в разных частях очаговой зоны, заполняя последовательно ее внутреннюю и внешнюю части.

Максимальный ($K_p=13.0$) афтершок произошел через $11^{\text{h}}38^{\text{m}}$ после главного толчка и вблизи от него. Энергетическая ступень между ними равна

$$\Delta K_a = 14.9^p - 13.0 = 2.0.$$

Статистика афтершоков в пределах очаговой зоны (рис. 4) по полумесячным интервалам времени, представленная на рис. 8, свидетельствует о резком их спаде уже в марте. Минимальные значения числа афтершоков $N=1$ характеризуют три интервала, приходящиеся на вторую половину июня и июль.

Является ли конец июля завершением серии, нельзя сказать определенно в связи с анализом карт эпицентров землетрясений до и после этого времени на рис. 9.

Как видим, на обеих картах эпицентры землетрясений расположены и вблизи главного толчка, и на некотором удалении.

В завершение сопоставим механизмы очагов максимального форшока и афтершока с механизмом очага главного толчка. Для первых двух из названных очагов имеются лишь региональные решения [7], для главного толчка предпочтительным является решение HRVD (табл. 4).

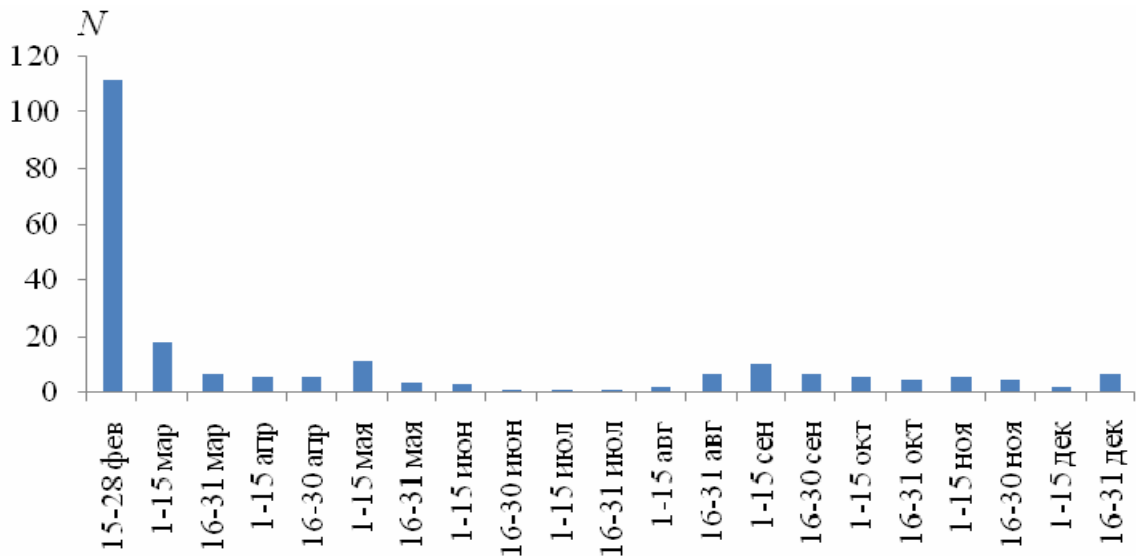


Рис. 8. Изменение во времени числа землетрясений в очаговой зоне землетрясения 14 февраля за период 15.02–31.12. 2005 г.

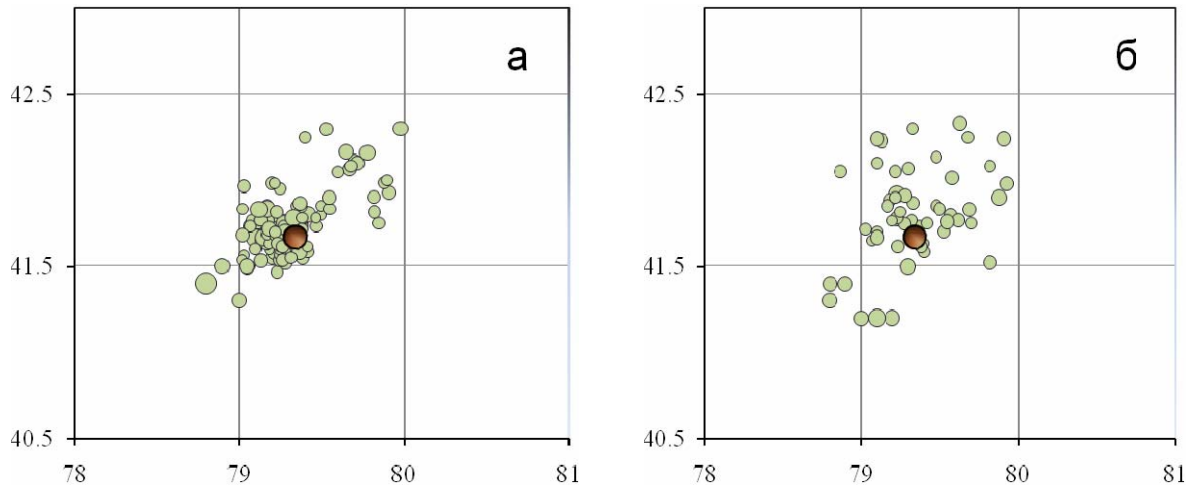


Рис. 9. Карты эпицентров землетрясений в очаговой зоне главного толчка 14 февраля за 14.02–31.07 и 01.08–31.12 2005 г.

Таблица 4. Параметры механизма очага максимального форшока, афтершока и главного толчка землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$

Дата, д м	t_0 , ч мин с	h^* , км ISC	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агентство
				T		N		P		NP1			NP2			
				PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
19.01	06 28 16.5	44*	12.1	69	213	18	238	9	326	35	40	60	252	56	113	ЦА [7]
14.02	23 38 09.5	31*	14.9	49	340	9	80	40	177	321	10	152	79	85	81	HRVD [2]
15.02	11 16 15.8	30*	13.0	52	23	21	262	29	160	205	25	30	87	78	112	ЦА [7]

В очаге максимального форшока существенно преобладали напряжения сжатия северо-западного направления ($AZM=326^\circ$), т.к. они близгоризонтальны ($PL_p=9^\circ$). Это вызвало в его очаге подвижки типа взброс как по плоскости $NP1$ северо-восточного ($STK=35^\circ$) простирания, так и по плоскости $NP2$ близширотного ($STK=252^\circ$) простирания с незначительными компонентами левостороннего сдвига по первой и правостороннего – по второй. Обе плоскости достаточно крутые ($DP=40$ и 60° соответственно).

В очаге главного толчка (по HRVD) соотношение величины напряжений сжатия и растяжения изменилось, их углы с горизонтом близки по величине ($PL_p=40^\circ$, $PL_T=49^\circ$). Изменилась и их ориентация ($AZM_p=158^\circ$ вместо 326° , $AZM_T=340^\circ$ вместо 213°). В результате по очень пологой ($DP=10^\circ$) плоскости $NP1$ произошла подвижка типа сдвиг-надвиг (сдвиг – правосторонний), по близвертикальной ($DP=85^\circ$) плоскости $NP2$ – почти чистый взброс (рис. 10).

В механизме очага максимального афтершока ориентация напряжений сжатия изменилась незначительно ($AZM=160^\circ$ вместо 177°), угол с горизонтом 29° вместо 40°). Ориентация напряжений растяжения, наоборот, изменилась с запад-северо-западной на север-северо-восточную, что привело к изменению простирания нодальных плоскостей. Но тип подвижки в очаге максимального афтершока остался сходным с главным толчком: по крутой ($DP=78^\circ$) плоскости произошел взброс, по пологой ($DP=25^\circ$) – надвиг (рис. 10).

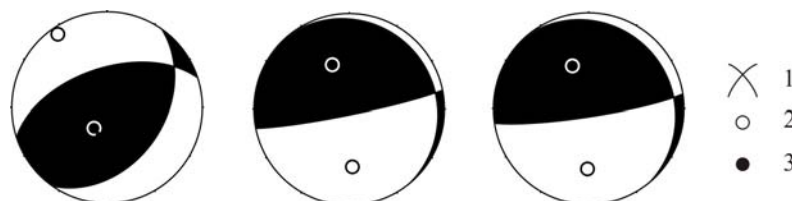


Рис. 10. Сравнение механизмов очагов максимального форшока (19 января в 06^h28^m с $K_p=12.1$), максимального афтершока (15 февраля в 11^h16^m с $K_p=13.0$) и главного землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$ в проекции нижней полусферы

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

Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2005 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2005–2006.
2. *Bulletin of the International Seismological Centre for 2005*. – Berkshire: ISC, 2007.
3. Джанузаков К.Д. (отв. сост. по региону), Соколова Н.П. (Кыргызстан), Калмыкова Н.А. (Казахстан), Холикова М.М. (Узбекистан), Соппева К., Шукурова Р.Б., Шипулина С.А., Проскурина Л.П., Ульянина И.А., Гайшук Л.Н., Тулегенова М.К., Джалилова С.С. Каталог землетрясений Центральной Азии за 2005 год ($N=488$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
4. Калмыкова Н.А., Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК), Михайлова Н.Н. (ИГИ НЯЦ РК) (отв. сост.); составители: Шипулина С.А., Проскурина Л.П., Ульянина И.А., Умурзакова Р.А., Гайшук Л.Н. (от СОМЭ МОН РК); Куликова Г.О., Бостанова Н.Ш., Германова Т.И. (от ИГИ НЯЦ РК). Каталог землетрясений Казахстана за 2005 год ($N=593$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
5. Шебалин Н.В. Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.
6. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
7. 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 2005 год ($N=107$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Неверова Н.П. Список афтершоков землетрясения 14 февраля 2005 г. с $K_p=14.9$. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 19.11.2010 г. – 4 с.
9. Артёмова Е.В., Михайлова Р.С. (сост.) Каталог землетрясений области исследований процессов развития и реализации сейсмичности в пределах координат $39.00-43.50^\circ N$, $77.00-81.70^\circ E$ за 2005 год ($N=515$). – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2010 г. – 8 с.
10. Неверова Н.П., Артёмова Е.В., Михайлова Р.С. Афтершоки землетрясения 14 февраля 2005 г. с $MS=6.3$ (Центральная Азия) ($N=172$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).