

СЕВЕРНЫЙ, ВОСТОЧНЫЙ и ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН

Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова

В настоящей статье приводятся данные о сейсмичности территории Казахстана, за исключением районов Северного Тянь-Шаня, расположенных в его южной и юго-восточной части, описываемых в отдельной статье [1]. В 1997 г. на этой территории были зарегистрированы землетрясения в районах Центрального и Восточного Казахстана [2]. В 1998 г. обнаружена группа очагов слабых землетрясений в Северном Казахстане, в связи с этим изменено название статьи: вместо «Центральный и Восточный Казахстан» в [2,3] принято – «Северный, Центральный и Восточный Казахстан».

В состав сейсмической сети Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК) в 1998 г. входили трехкомпонентные широкополосные станции «Актюбинск», «Боровое», «Курчатов», «Маканчи», «Подгорное», «Талгар», а также сейсмические группы «Курчатов-Крест», «Чкалово», «Восточное», «Зеренда» [3]. Методика обработки данных в ретроспективном режиме не изменилась [2–4].

В Северном Казахстане впервые зарегистрированы землетрясения в районе обсерватории «Боровое». Отметим, что информация о каких-либо землетрясениях в этом месте отсутствует в имеющихся каталогах территории Казахстана. Поэтому, несмотря на то, что эти землетрясения имеют небольшие энергетические классы, представляется важным включение их в настоящую статью и соответствующий каталог [5], составленный в редакции сборника. Всего было зафиксировано 5 местных землетрясений, параметры которых приведены в табл. 1. Одно из них, произошедшее 27 июля в 17^h39^m с $K_p=6.9$, ощущалось с интенсивностью сотрясений в 4 балла в пос. Боровое ($\Delta=10$ км) и в г. Щучинске ($\Delta=10$ км). Оно имело 2 форшока: 26 июля в 07^h41^m с $K_p=5.3$ и 27 июля в 14^h32^m с $K_p=5.4$, т.е. энергетическая ступень между уникально слабым «главным толчком» и максимальным форшоком составила $\Delta K_\phi=1.5$. Кроме того, зарегистрированы и 2 афтершока: первый с $K_p=2.2$ через 5 минут после «главного толчка», второй – 29 июля в 10^h55^m с $K_p=3.3$, и, следовательно, разница в энергетических классах с максимальным афтершоком равна $\Delta K_a=3.6$. Афтершоки были локализованы по большебазовой группе «Боровое» (станции «Чкалово», «Зеренда», «Восточное», «Боровое»).

Таблица 1. Параметры землетрясений вблизи курорта «Боровое»

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Эпицентр		Эллипс ошибок			h , км	δh , км	MPVA	K_p
				φ°, N	λ°, E	S_{maj} км	S_{min} км	AZM, град.				
1	26.07	07 41 57.0	0.3	53.00	70.15	2.5	2.3	91.5	з/к		2.4	5.3
2	27.07	14 32 00.1	0.2	52.99	70.18	1.8	1.4	5.2	7	3	2.2	5.4
3	27.07	17 39 13.0	0.4	52.99	70.19	4.6	3.3	4.3	6	4	2.9	6.9
4	27.07	17 44 57.9		52.99	70.19				з/к		1.2	2.2
5	29.07	10 55 01.5		52.99	70.19				з/к		1.6	3.3

Эти события являются уникальными, поскольку территория Северного Казахстана считалась асейсмичной. Для максимального землетрясения этой группы с $K_p=6.9$ на рис. 1 представлены вертикальные компоненты записей цифровыми станциями группы «Боровое» («Боровое», «Восточное», «Зеренда», «Чкалово») и станцией «Курчатов».

В табл. 2 представлены основные параметры землетрясений Восточного Казахстана и прилегающих территорий с $K_p \geq 9.0$, где погрешность локализации эпицентров характеризуется эллипсом ошибок: S_{maj} – большая полуось, S_{min} – малая, AZM – азимут большой оси. Всего таких событий было зарегистрировано 13. Карта расположения сейсмических станций и эпицентров землетрясений представлена на рис. 2.

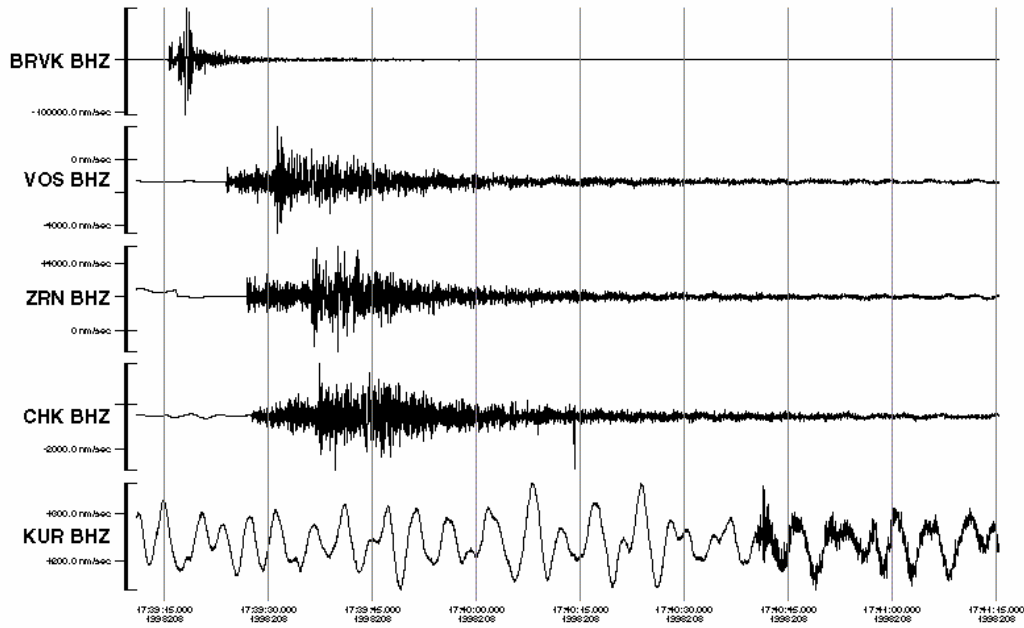


Рис. 1. Сейсмограммы землетрясения 27 июля с $K_p=6.9$ по вертикальным компонентам станций «Боровое» (BRVK), «Восточное» (VOS), «Зеренда» (ZRN), «Чкалово» (CHK), «Курчатов» (KUR)

Таблица 2. Параметры землетрясений по станциям казахстанской сети НЯЦ РК с $K_p \geq 9.0$

№	Дата, д м	t_0			δt_0 , с	Эпицентр		Эллипс ошибок			h , км	δh , км	MPVA	K_p
		ч	мин	с		φ°, N	λ°, E	S_{maj} , км	S_{min} , км	AZM, град.				
1	07.01	16	09	15.3	1.7	44.50	80.81	9	4	123.5	10	10	4.6	10.4
2	22.01	16	05	50.0	2.0	48.58	84.83	18	9	68.6	з/к		5.0	12.0
3	06.02	10	01	56.1	1.0	46.01	82.64	9	2	107.1	15	14	4.3	9.9
4	01.03	18	45	19.4	2.4	45.12	80.25	15	7	99.0	17		4.0	10.1
5	08.03	10	47	23.8	2.3	44.94	80.62	16	4	103.0	з/к		4.9	11.5
6	16.04	05	23	45.2	2.5	44.29	80.71	27	5	81.6	з/к		4.8	10.4
7	19.05	02	37	21.0	2.0	47.54	81.70	20	7	74.3	з/к		4.1	9.7
8	16.06	02	14	53.3	2.7	44.73	81.07	15	5	113.5	з/к		4.2	9.4
9	12.07	07	16	15.7	1.2	47.62	82.70	13	3	93.1	з/к		5.3	13.6*
10	16.08	05	53	39.8	3.5	44.89	80.99	48	7	117.7	з/к		4.3	10.0
11	31.08	16	55	44.7	5.6	44.38	81.37	28	15	134.0	9		4.1	10.1
12	28.10	06	50	48.1	2.7	46.55	84.12	17	5	94.2	7	9	3.9	9.7
13	01.11	03	56	12.0	2.9	46.93	83.73	19	10	100.9	з/к		3.7	9.1

Примечание. Знаком * отмечен класс, определенный как среднее значение по всем сейсмическим станциям НЯЦ РК и ИС МОН РК.

Рассмотрим подробно наиболее сильные события с $K_p > 11.0$. Таких событий в табл. 2 зарегистрировано и обработано только три (2, 5, 9).

Землетрясение (2) с $K_p = 12.0$ произошло 22 января в 16^h05^m в районе Курчумского хребта, вблизи оз. Зайсан. В пос. Зайсан ($\Delta=134$ км) это землетрясение ощущалось с интенсивностью 3–4 балла, а в г. Усть-Каменогорск ($\Delta=232$ км) – 3 балла по шкале MSK-64 [6]. Обработка его проведена различными способами. В частности, по данным сейсмической группы «Курчатов-Крест» с помощью F-K-анализа [7] были определены азимут на эпицентр ($AZM=104.28^\circ$) и кажущаяся скорость ($v=7.25$ км/с), а затем проведена локализация эпицентра (рис. 3). Кроме того, гипоцентр был определен и по сети всех станций НЯЦ РК. Разница между двумя найденными эпицентрами составляет 18 км (рис. 4).

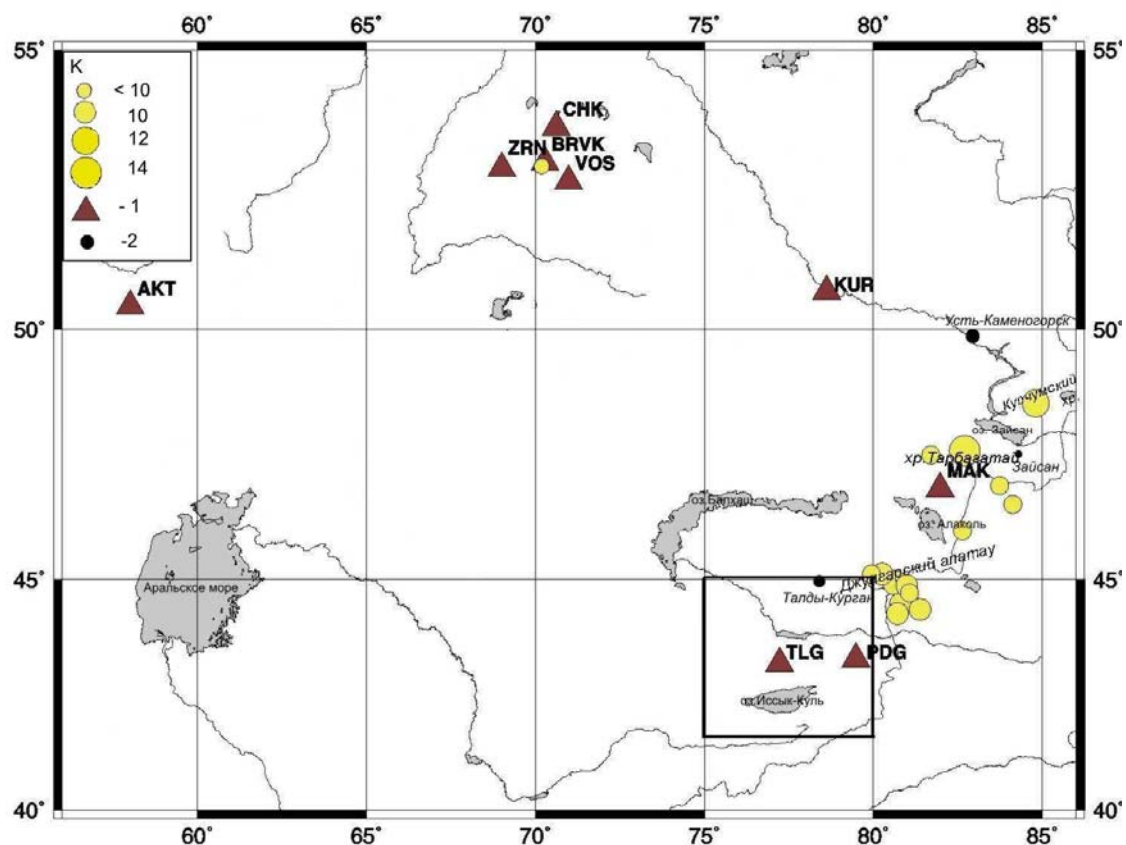


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений исследуемой территории за 1998 г.

1 – сейсмическая станция; 2 – населенный пункт. Коды и названия сейсмических станций: АКТ – «Актюбинск»; BRVK – «Боровое»; CHK – «Чкалово»; KUR – «Курчатов»; MAK – «Маканчи»; PDG – «Подгорное»; TLG – «Талгар»; VOS – «Восточное»; ZRN – «Зеренда».

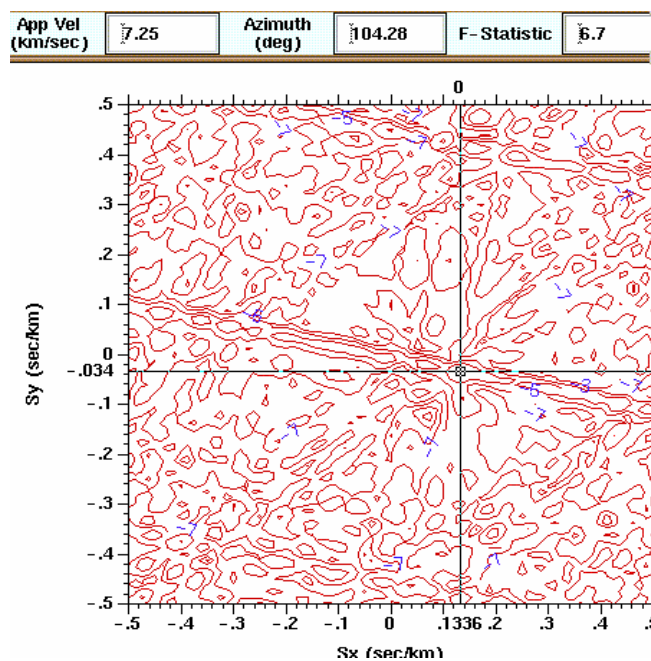


Рис. 3. Результаты F-K-анализа для землетрясения № 2 по данным группы «Курчатов-Крест»

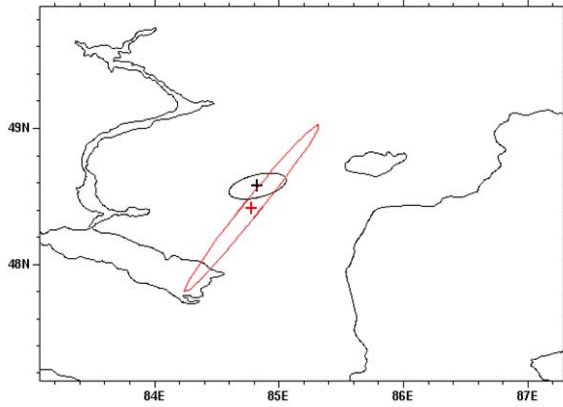


Рис. 4. Расположение эпицентров землетрясения № 2 и эллипсов ошибок по данным группы «Курчатов-Крест» (меньший эллипс) и сети станций НЯЦ РК

Землетрясение (5) с $K_p=11.5$ отмечено 8 марта в $10^h 47^m$ в районе хр. Джунгарский Алатау. Землетрясение ощущалось в г. Талды-Курган ($\Delta=175$ км) с интенсивностью 2–3 балла. Оно не является единственным событием в этом районе за 1998 год. Эпицентры землетрясений (1, 4–6, 8, 10, 11) свидетельствуют о наличии сейсмической активности в Джунгарии.

Землетрясение (9) с $K_p=13.6$ произошло 12 июля в $07^h 16^m$ в районе хр. Тарбагатай, вблизи сейсмической станции «Маканчи» ($\Delta=105$ км). В пос. Зайсан ($\Delta=90$ км) оно ощущалось с интенсивностью 3–4 балла. Это сильнейшее землетрясение в Восточном Казахстане после известных Зайсанских землетрясений 1990 г. [8]. Сводка вариантов локализации его гипоцентра и оценки величины даны в табл. 3. Записи по цифровым станциям НЯЦ РК показаны на рис. 5 (вертикальные компоненты).

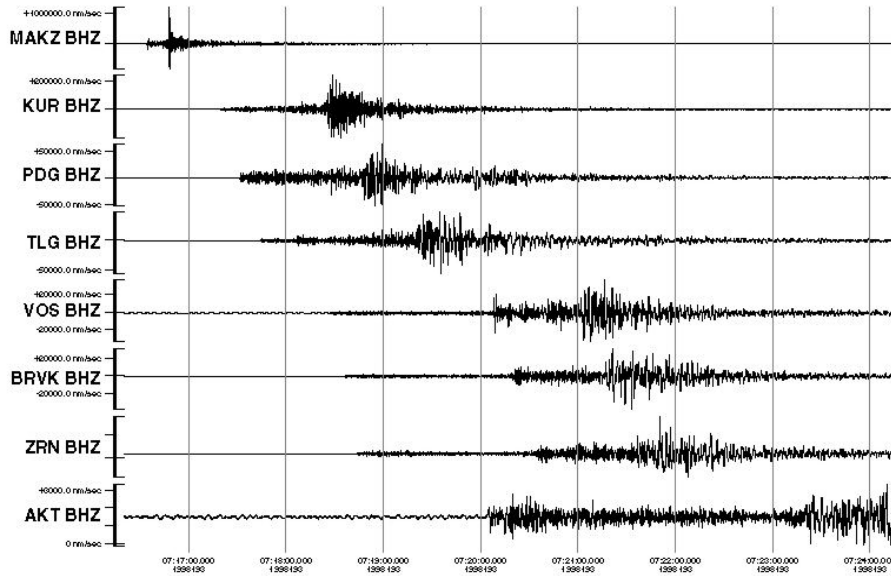


Рис. 5. Сейсмограммы землетрясения 12 июля в $07^h 16^m$ с $K_p=13.6$. по вертикальным компонентам сети станций НЯЦ РК

Таблица 3. Варианты локализации землетрясения 12 июля по данным разных агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Ис- точ- ник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
НЯЦ РК	07 16 15.7	1.02	47.62		82.7				$MPVA=5.3$, $K_p=13.6$	
MOS	07 16 17.5		47.7		82.7		35		$M_S=4.5/14$, $MPSP=5.1/40$	[9]
ISC	07 16 14	2.3	47.63	0.026	82.88	0.035	13 21*	14 1.8*	$M_S=4.5/33$, $m_b=4.9/102$	[10]
NEIC	07 16 16.6		47.72		82.88		33		$M_S=4.5/10$, $m_b=4.9/69$	[10]
EIDC	07 16 13.0	0.61	47.6		82.9		0		$M_S=4.3/11$, $m_b=4.7/22$	[10]
ВЛ	07 16 16.3		47.62		82.88		30		$M_S=5.1$, $m_b=4.7$	[10]
HRVD (для центроида)	07 16 21.2	0.2	47.79	0.02	82.78	0.01	35	1.0	$M_w=5.2$	[10]

Примечание. Знаком * помечены h и δh по волнам типа pP–P из [10].

Это землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков. Поскольку в Восточном Казахстане работала только одна станция «Маканчи» (трехкомпонентная цифровая станция IRIS/GSN), то для большинства афтершоков невозможно было провести локализацию гипоцентров. Только для событий, которые, кроме «Маканчи», зарегистрировали станции «Курчатов» и «Подгорное», удалось получить основные параметры афтершоков. В табл. 4 представлен список афтершоков, обработанных по станции «Маканчи». Для них указаны расчетное время в очаге, разность моментов вступлений Р- и S-волн и энергетический класс K_p . Для афтершоков, локализованных по сети станций, представлены полные сведения об их параметрах и эллипсах ошибок. К сожалению, эти данные об афтершоковой последовательности не полные из-за перерыва в работе станции «Маканчи» с 18 июля с 12^h36^m по 26 июля в 10^h56^m.

Таблица 4. Параметры афтершоков землетрясения 12 июля в 07^h16^m с $M_w=5.2$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	δt , с	t_s-t_p	Эпицентр		S_{maj}	S_{min}	AZM	h , км	δh , км	MPVA	K_p
					φ°, N	λ°, E							
1	12.07	07 49 34.2	1.0	13.1	47.62	82.55	10	1.9	82.1	зк	–	3.0	7.8
2	12.07	08 02 25.2		13.0									
3	12.07	08 07 45.4		12.9									
4	12.07	08 20 11.1		12.8									
5	12.07	08 21 36.4	2.1	12.8	47.63	82.63	19.9	2.7	83.7	зк	–		7.7
6	12.07	08 40 00.8		13.1									6.9
7	12.07	08 52 50.4		12.8									
8	12.07	09 13 56.2		13.1									5.6
9	12.07	10 03 17.6		12.7									
10	12.07	11 31 12.8		13.2									
11	12.07	12 22 34.5		12.8									5.1
12	12.07	12 23 33.7	0.8	12.9	47.43	82.73	8.7	1.8	93.6	зк	–		7.1
13	13.07	01 41 31.9	1.2	12.9	47.60	82.64	11.9	1.7	40.6	зк	–	2.6	6.4
14	13.07	02 12 57.9	1.2	13.2	47.64	82.61	10.7	1.5	83.9	зк	–		7.2
15	13.07	16 19 59.4		12.9								2.2	5.7
16	13.07	18 15 05.9		12.9									
17	13.07	18 16 50.6		12.8									
18	14.07	10 25 25.2		12.9									
19	14.07	15 58 10.7		13.5									
20	14.07	17 35 26.9		12.6									
21	15.07	00 59 13.7		13.7									
22	15.07	01 02 34.4		12.7									
23	16.07	08 13 12.9		12.9									
24	16.07	08 51 40.2		12.9									
25	16.07	18 22 36.6		12.7									
26	17.07	01 37 03.7	1.2	12.9	47.33	82.74	17.4	2.4	102.8	зк	–	2.3	7.0
27	17.07	10 40 48.0		12.9									
28	18.07	07 58 51.9		13.2									
Перерыв в работе станции													
29	27.07	01 34 41.4		13.0									
30	27.07	02 37 59.5		13.0									
31	27.07	04 49 31.4		13.1									
32	27.07	20 12 33.5		13.4									
33	29.07	19 16 24.1		13.0									
34	30.07	06 58 05.8		13.0								2.5	6.6
35	30.07	21 13 45.8		12.9									5.9
36	06.08	10 10 00.9		13.1									
37	13.08	07 30 00.2		13.3									
38	14.08	03 53 26.6		13.0									
39	16.08	07 13 51.3		12.8									
40	18.08	21 00 50.6		13.2									

Как следует из табл. 4, энергетические классы наиболее сильных афтершоков, определенные только по станции «Маканчи», составили всего лишь 7.7; 7.8. Как правило, максимальные афтершоки реализуются в течение первых двух–трех суток после главного толчка, и, сле-

довательно, с большой долей вероятности можно предположить, что такой максимальный афтершок реализовался 12 июля в 12^h49^m, имея $K_p=7.8$. При таком предположении величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным афтершоком, равная $\Delta K_a=6.8$, уникальна, т. к. она очень большая.

В табл. 5 приведены параметры механизма этого очага, определенные по данным Национального ядерного центра [11, 12] и Гарвардского университета [10]. Решения в [12], полученные Н.Н. Полешко (№ 1) по знакам первых вступлений Р-волн, и решения, полученные в HRV по методу тензора момента центроида (№ 2), близки. В обоих случаях движение происходит под действием превалирующих растягивающих напряжений близширотного простирания; одна из нодальных плоскостей имеет северо-западное – юго-восточное простирание, другая плоскость в случае (№ 1) имеет близмеридиональное направление, в случае (№ 2) – северо-восточное – юго-западное. Однако в № 1 обе плоскости имеют более пологое залегание, чем в № 2. В решении № 1 по обеим плоскостям движение в очаге представлено сбросом, в решении № 2 – комбинацией сброса и сдвига (по плоскости $STK=139^\circ$ – это правосторонний сдвиг, по плоскости $STK=46^\circ$ – левосторонний (рис. 6).

Таблица 5. Параметры механизма очага землетрясения 12 июля в 07^h16^m с $M_w=5.2$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	K_p	M_w	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	12.07	07 16 15.7	13.6		5	251	22	338	68	142	140	43	-122	1	55	-64
2				5.2	10	94	66	209	21	0	139	67	-172	46	83	-23

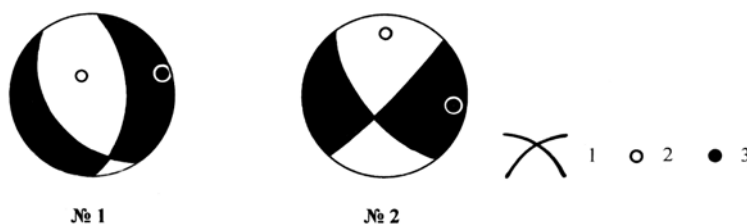


Рис. 6. Механизм очага землетрясения 12 июля в 07^h16^m с $M_w=5.2$ (решения №1 и №2 из табл. 5)

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернены области сжатия.

Л и т е р а т у р а

1. Бейсенбаев Р.Т., Калмыкова Н.А., Неверова Н.П. Северный Тянь-Шань (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
2. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Центральный и Восточный Казахстан // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФОП, 2003. – С. 89–90.
3. Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Центральный и Восточный Казахстан // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 71–75.
4. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для определения магнитуды землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 41–47.
5. Михайлова Р.С. (сост.). Северный, Восточный и Центральный Казахстан (См. раздел IV (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
6. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
7. Capon J. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis // Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers. – 1969. – V. 57. – P. 1408–1418.

8. Нурмагамбетов А., Садыков А., Тимуш А.В., Хайдаров М.С., Власова А.А., Михайлова Н.Н., Сабитов М.М., Умирзакова А., Гапич В.А. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ГС РАН, 1996. – С. 54–60.
9. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1998 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 1998–1999.
10. *Bulletin of the International Seismological Centre (for 1998)*. – Berkshire: ISC, 2000.
11. Бейсенбаев Р.Т., Ли А.Н., Полешко Н.Н., Михайлова Н.Н. Характеристика сеймотектонической деформации в районах Центрального и Восточного Казахстана // Тезисы докладов V Казахстанско-Китайского международного симпозиума 24–27 сентября 2003 г. – Алматы: ИС МОН РК, 2003. – С. 135–136.
12. Полешко Н.Н. (отв. сост.). Северный, Восточный и Центральный Казахстан (См. раздел V (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).