

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 «Ақтобынсыз», «Боровос», «Қурчатов», «Макапчи», «Подгорное», «Галгар», а также сейсмические группы «Қурчатов-Крест», «Чкалово», «Восточное», «Зеренда» [3]. Методика обработки данных в ретроспективном режиме не изменилась [2–4].

В Северном Казахстане впервые зарегистрированы землетрясения в районе обсерватории «Боровос». 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 $17^{\text{h}}39^{\text{m}}$ с $K_p=6.9$, ощущалось с интенсивностью сотрясений в 4 балла в пос. Боровос ($\Delta=10$ км) и в г. Щучинске ($\Delta=10$ км). Оно имело 2 форшока: 26 июля в $07^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $K_p=5.3$ и 27 июля в $14^{\text{h}}32^{\text{m}}$ с $K_p=5.4$, т.е. энергетическая ступень между уникально слабым «главным толчком» и максимальным форшоком составила $\Delta K_p=1.5$. Кроме того, зарегистрированы и 2 афтершока: первый с $K_p=2.2$ через 5 минут после «главного толчка», второй – 29 июля в $10^{\text{h}}55^{\text{m}}$ с $K_p=3.3$, и, следовательно, разница в энергетических классах с максимальным афтершоком равна $\Delta K_p=3.6$. Афтершоки были локализованы по базисной группе «Боровос» (станции «Чкалово», «Зеренда», «Восточное», «Боровос»).

Таблица 1. Параметры землетрясений вблизи курорта «Боровос»

№	Дата д м	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Эллипсоид		Эллипсоид 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	√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				√к		1.2	2.2
5	29.07	10 55 01.5		52.99	70.19				√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 «Боровос» («Боровос», «Восточное», «Зеренда», «Чкалово») и станцией «Қурчатов».

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

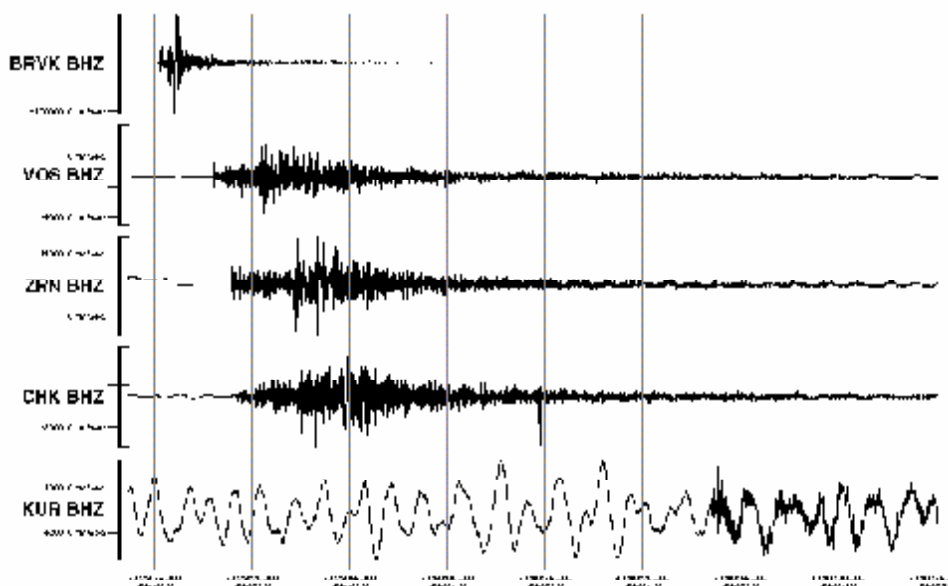


Рис. 1. Сейсмограммы землетрясения 27 июля с $M_f=6.9$ по вертикальным компонентам станций «Баровск» (BRVK), «Изюмчолок» (VOS), «Зеркало» (ZRN), «Чкалов» (CHK), «Курчатов» (KUR)

Таблица 2. Параметры землетрясений по станциям казахстанской сети НЯЦ РК с $M_f > 9.0$

№	Дата, д м	t_0			δt_0 , с	Гипоцентр		Эллипс эпицентра			h , км	δh , км	MPVA	M_f
		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	7/к	10	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	10	4.0	10.1
5	08.03	10	47	23.8	2.3	44.94	80.62	16	4	103.0	7/к	10	4.9	11.5
6	16.04	05	23	45.2	2.5	44.29	80.71	27	5	81.6	7/к	10	4.8	10.4
7	19.05	02	37	21.0	2.0	47.54	81.70	20	7	74.3	7/к	10	4.1	9.7
8	16.06	02	14	53.3	2.7	44.73	81.07	15	5	113.5	7/к	10	4.2	9.4
9	12.07	07	16	15.7	1.2	47.62	82.70	13	3	93.1	7/к	10	5.3	13.6*
10	16.08	05	53	39.8	3.5	44.89	80.99	48	7	117.7	7/к	10	4.3	10.0
11	31.08	16	55	44.7	5.6	44.38	81.37	28	15	134.0	9	10	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	7/к	10	3.7	9.1

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

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

Землетрясение (2) с $M_f = 12.0$ 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-Камегиорск ($\Delta=232$ км) – 3 балла по шкале MSK-64 [6]. Обработка его проводилась 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).

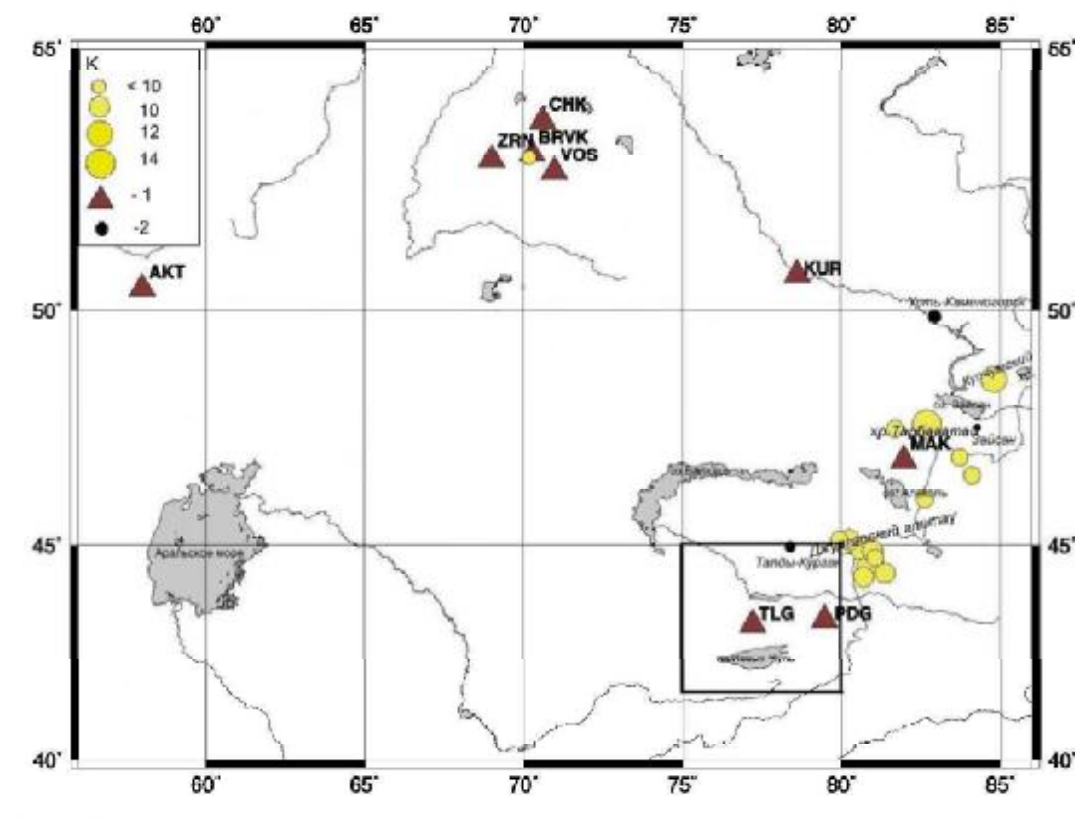


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений исследуемой территории в 1998 г.

1 – сейсмическая станция; 2 – населенный пункт. Коды и названия сейсмических станций: АКТ – «Актюбинь»; BRVK – «Берзовь»; CHK – «Чкаловь»; KUR – «Курятовь»; MAK – «Макзани»; PDG – «Подгорна»; VOS – «Восточна»; ZRN – «Зиренда».

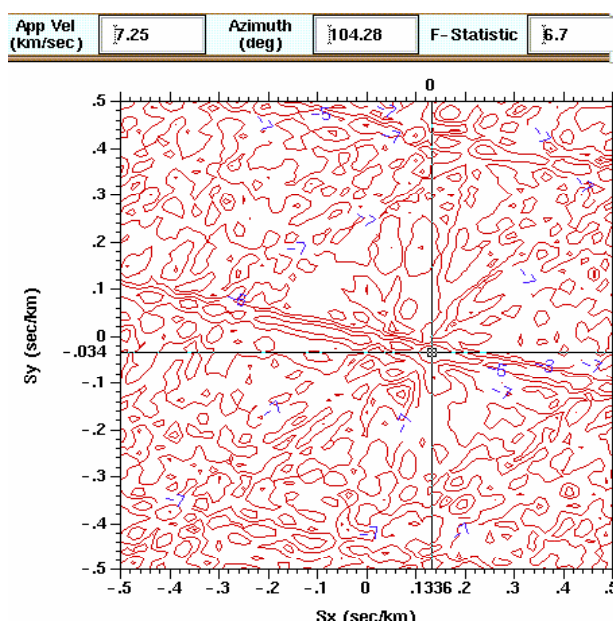


Рис. 3. Результаты F-K-анализа для землетрясения № 2 по данным группы «Курятов-Крест»

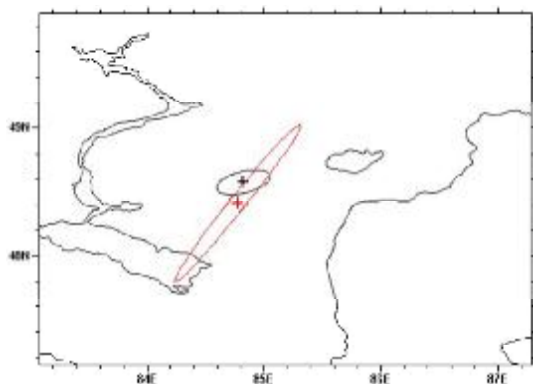


Рис. 4. Расположение эпицентров землетрясений № 2 и эпицентр оплошк по данным группы «Куршгаз-Крест» (метельный шторм) и сети станций ИЯЦ РК

Землетрясение (5) с $K_p=11.5$ отмечено 8 марта в 10^h47^m в районе хр. Дзунгарский 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 Дзунгарии.

Землетрясение (9) с $K_p=13.6$ произошло 12 июля в 07^h16^m в районе хр. Тарбагатай, близ сейсмической станции «Мақанчи» ($\Delta=105$ 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 величин даны в табл. 3. Записи по цифровым станциям ИЯЦ РК показаны на рис. 5 (вертикальные компоненты).

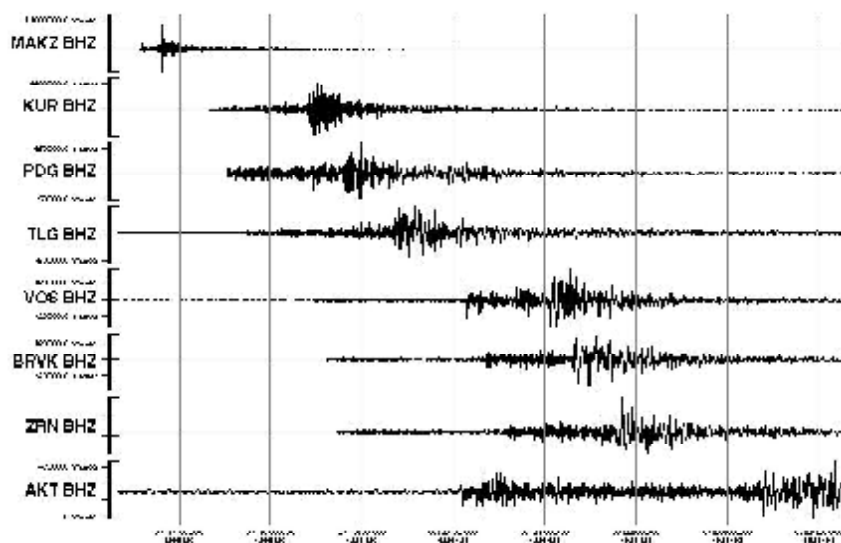


Рис. 5. Сейсмограммы землетрясения 12 июля в 07^h16^m с $K_p=13.6$ по вертикальным компонентам сети станций ИЯЦ РК

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

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Ис-точник
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
ИЯЦ 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 центра) (ц)	07 16 21.2	0.2	47.79	0.02	82.78	0.01	35	1.0	$M_w=5.2$	[10]

Примечание. Знаком * отмечены h и δh по водам глиц рР–Р из [10].

Это землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков. Поскольку в Восточном Казахстане работала только одна станция «Макапчи» (трехкомпонентная цифровая станция IRIS/GSN), то для большинства афтершоков невозможно было провести локализацию гипоцентров. Только для событий, которые, кроме «Макапчи», зарегистрировали станции «Курчатов» и «Подгорное», удалось получить основные параметры афтершоков. В табл. 4 представлен список афтершоков, обработанных по станции «Макапчи». Для них указаны расчетное время в очаге, разность моментов вступления 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 «Макапчи» с 18 июля в 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	лк	—	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	лк	—		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	лк	—		7.1
13	13.07	01 41 31.9	1.2	12.9	47.60	82.64	11.9	1.7	40.6	лк	—	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	лк	—		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	лк	—	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 «Макапчи», 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, имел $K_0=7.8$. При таком предположении величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным афтершоком, равная $\Delta K_0=6.8$, 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. Полежако (№ 1) по знакам первых вступлений Р-волн, и решения, полученные в HRV по методу тензора момента центриды (№ 2), близки. В обоих случаях движение происходит под действием преобладающих растягивающих напряжений близкитрещинного простирания; одна из подольных 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_0	M_w	Оси главных напряжений						Подольные 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	5.2	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

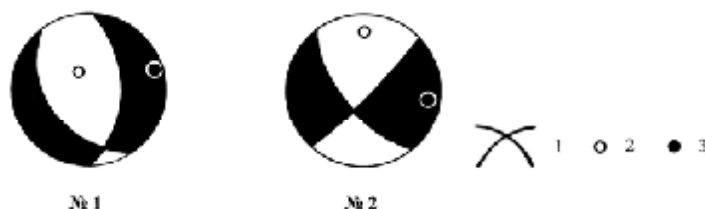


Рис. 6. Механизм очага землетрясения 12 июля в 07^h16^m с $M_w=5.2$ (решения №1 и №2 из табл. 5)

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

Л и т е р а т у р а

- Бейсенбаев Р.Т., Калмыкина Н.А., Неперова Н.П. Северный Тянь-Шань (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в вост. сб.).
- Михайлова И.П., Соколова И.П. Центральный и Восточный Калкхетан // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: СЭИ, 2003. – С. 89–90.
- Беляпова Н.Н., Михайлова И.П., Соколова И.П. Центральный и Восточный Калкхетан // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 71–75.
- Михайлова И.П., Неперова Н.П. Кашибровочная функция для определения магнитуды землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском дрейфетическом полигоне. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 41–47.
- Михайлова Р.С. (сост.). Северный, Восточный и Центральный Калкхетан (См. раздел IV (Каталоги землетрясений) в вост. сб. на CD).
- Медведев С.В. (Москва), Шиндхейер В. (Вена), Каршич В. (Прага). Шакал сейсмической информации MSK-64. – М.: МИК АН СССР, 1965. – 11 с.
- Caron 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., Садылов А., Тимур А.В., Хайдаров М.С., Високи А.А., Михайлова Н.Н., Сабитов М.М., Умшракува А., Ганич В.А. Зайсанское землетрясение 14 июля 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ГСРАИ, 1996. – С. 54–60.
9. Сейсмологический бюллетень (ежегодный) за 1998 год / Отв. ред. О.Е. Сиваровой. – Обнинск: ЦОМЭ ГСРАИ, 1998–1999.
10. **Bulletin of the International Seismological Centre (for 1998).** – Berkshire: ISC, 2000.
11. Бейсенбаев Р.Т., Ли А.Н., Полепко Н.Н., Михайлова Н.Н. Характеристики сейсмотектонической деформации в районах Центрального и Восточного Казахстана // Тезисы докладов V Казахстанско-Китайского международного симпозиума 24–27 сентября 2003 г. – Алматы: ИС МОИ РК, 2003. – С. 135–136.
12. Полепко И.И. (отв. сост.). Северный, Восточный и Центральный Казахстан (См. раздел V (Краткие механизмы очагов землетрясений) в пак. сб. на CD).