

УДК 550.34

Абдыраева Б.С., Малдыбаева М.Б., Сабирова Г.А.  
Институт сейсмологии НАН КР  
г. Бишкек, Кыргызстан

### АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ФОРШОКОВ И АФТЕРШОКОВ НУРИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 5 ОКТЯБРЯ 2008 ГОДА

**Аннотация.** В статье приведены результаты анализа механизмов очагов 4 форшоков (с 05.01.2008 г. по 28.07.2008 г.) и 46 афтершоков за период с 05.10.2008 г. по 26.12.2008 г. Нурина землетрясение 5 октября 2008 года. Механизмы очагов форшоков и афтершоков определены методом группирования знаков первых вступлений Р-волн, записанных региональной сетью сейсмических станций. Деформация в очагах форшоков характеризуется взбросом по крутой плоскости или сдвиговым по пологой, а в очагах афтершоков – сдвиго- надвиговыми типами подвижек.

**Ключевые слова:** механизм, эпицентр, землетрясение, главный толчок, фокальный механизм, стереограмма, нодальная плоскость, оси главных напряжений.

### 2008 ЖЫЛДЫН 5-ОКТЯБРЫНДАГЫ НУРАДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨНҮН АЛДЫНДАГЫ ЖАНА КИЙИНКИ ТИТИРӨӨЛӨРДҮН БҮТ МЕХАНИЗМДЕРИНИН АНАЛИЗИ

**Кыскача мазмуну.** Макалада с. Нура 2008-жылдын 5-октябрында болгон жер титирөөсүнүн 05.01.2008-жылдан 28.07.2008-жылга чейинки мезгилдеги 4 форшоктордун жана 46 афтершоктун 05.10.2008ж -26.12.2008жылга чейинки очоктук механизмдеринин анализинин айрым жыйынтыктары келтирилген. Форшок жана афтершоктун очоктук механизмдери сейсмикалык станциялардын аймактык тармагы тарабынан катталган Р толкундарынын биринчи келип түшүү белгилерин топтоо методу менен аныкталат. Форшок очокторундагы деформация тик тегиздик боюнча көтөрүлүү же жумшак тегиздик боюнча жылышуу менен мүнөздөлсө, афтершоктук очокторунда тайгалануулардын жылышуу түрлөрү менен мүнөздөлөт

**Негизги сөздөр:** механизм, эпицентр, жер титирөө, фокалдык механизм, стереограмма, нодалдык тегиздик, башкы чыналуулардын октору.

### ANALYSIS OF THE FOCAL MECHANISMS OF THE FORESHOCKS AND AFTERSHOCKS OF THE NURA EARTHQUAKE (OCTOBER 5, 2008)

**Abstract.** The article presents some results of the analysis of focal mechanisms of 4 foreshocks from 05.01.2008 to 28.07.2008 and 46 aftershocks for the period from 05.10.2008 to 26.12.2008 of the Nura earthquake (October 5, 2008). The focal mechanisms of foreshocks and aftershocks are determined by the method of grouping of the signs of first arrivals of P-waves recorded by the regional network of seismic stations. Deformation in foreshock sources is characterized by uplift along a steep plane or shear along a gentle plane, while in aftershock sources it is characterized by shear-thrust types of slips.

**Keywords:** mechanism, epicenter, earthquake, main shock, focal mechanism, stereogram, nodal plane, principal stress axes.

**Введение.** Изучение механизмов очагов форшоков и афтершоков необходимо для характеристики напряжённо-деформированного состояния очаговой зоны сильных землетрясений. Эта работа имеет специфический характер, связанный с наличием особенностей волновой картины землетрясений. Достоверность определения кинематических и динамических параметров очагов землетрясений, прежде всего, зависит

от сети наблюдений в ближней и дальней зоне. Территория Кыргызстана и его сейсмоактивные зоны «окружены» как местными, так и сейсмическими станциями Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, Китая, что позволило при определении МО землетрясений использовать достаточное количество данных от сейсмических станций не только Кыргызстана, но и сейсмических станций указанных соседних государств [1]. В статье рассматриваются вопросы, связанные с характером подвижек в очагах форшоков и афтершоков, а также механизм очага главного толчка Нуринского землетрясения 05.10.2008 г. с магнитудой  $M_{PV} = 6.8$ .

**Решение механизма очага.** Эпицентр Нуринского землетрясения находился в восточной части Заалайского хребта на территории Алайского района Ошской области Кыргызстана вблизи границы с Китаем. Сотрясениями была охвачена обширная территория, включающая Ошскую, Баткенскую, Джалал-Абадскую, Нарынскую области Кыргызстана и приграничных районов Китая, Узбекистана и Таджикистана. Сейсмические волны данного события зарегистрированы сетью аналоговых станций Кыргызстана (в количестве 24) и сетью KNET (10) [2]. Каталог механизмов очагов землетрясений приведён в работе [4]. Определены знаки первых вступлений Р-волн на 25 с/станциях. Записи землетрясения представлены в виде волновых форм. Записи первых вступлений Р-волн в большинстве случаев чёткие. Из них 19 с/станции дали знак «+», 6 с/станций — знак «-». Ось напряжения сжатия в очаге направлена на юг, азимут  $189^\circ$  и угол составляет  $12^\circ$ . Ось напряжения растяжения направлена на северо-запад, азимут  $318^\circ$  и угол -  $71^\circ$ . Ось промежуточного напряжения ориентирована на восток, азимут  $96^\circ$  и угол -  $15^\circ$ . Азимут простирания первой нодальной плоскости  $STK1=297^\circ$ , угол падения  $DP1=35^\circ$ , угол скольжения  $SLIP1=116^\circ$ . Азимут простирания второй нодальной плоскости  $STK2=87^\circ$ , угол падения  $DP2=59^\circ$ , угол скольжения  $SLIP2=73^\circ$  (рисунок 2) [4]. Подвижка в очаге землетрясения — «надвиг». В таблице 2 представлены параметры механизма очага главного толчка ИС НАН КР и решение GCMТ (Гарвардский Университет) [8].

На рисунке 1 представлена карта с механизмами очагов Нуринского землетрясения и его некоторые форшоков и афтершоков с  $K_R \geq 11.6$  за период с 2008-2020 гг. В таблице 1 приведены параметры группового определения афтершоков Нуринского землетрясения.

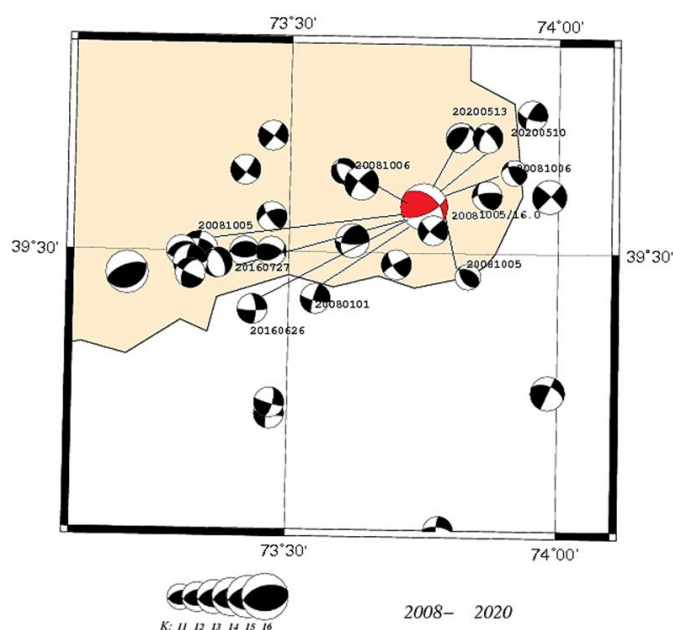


Рисунок 1. Карта механизмов очагов Нуринского землетрясения и его форшоков и афтершоков с  $K_R \geq 11.6$  за период 2008-2020 гг.

Таблица 1. Параметры группового определения афтершоков Нурина землетрясения.

Дата	Время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		NP1			NP2		
		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
05.10.2008	16-11	38	133	41	1	26	246	285	41	11	187	83	131
05.10.2008	16-52	76	124	14	310	1	220	296	45	71	143	48	108
06.10.2008	00-46	56	109	31	316	12	218	274	43	40	153	64	126
06.10.2008	07-27	0	225	22	314	69	135	295	49	-119	155	49	-61
06.10.2008	09-41	41	244	35	98	41	344	20	35	10	282	84	125
07.10.2008	00-59	21	272	50	155	33	16	50	50	-10	146	82	-140
07.10.2008	13-13	44	73	38	210	23	319	95	40	160	201	77	52
08.10.2008	07-48	51	306	28	79	24	183	70	75	60	316	33	152
08.10.2008	13-00	33	92	40	215	33	338	125	40	-180	35	90	-50
08.10.2008	21-41	46	319	18	71	37	178	70	85	70	327	21	166
12.10.2008	11-06	3	62	49	328	41	155	190	60	-30	296	65	-146
13.10.2008	09-23	14	249	58	134	27	347	25	60	-10	120	81	-150
14.10.2008	07-28	18	77	54	192	30	336	120	55	-170	24	82	-35
15.10.2008	16-48	40	255	46	106	16	359	45	50	20	302	75	138
01.11.2008	05-59	24	110	40	222	41	357	50	80	-50	152	41	-165
03.11.2008	08-39	62	146	27	310	7	43	160	45	130	290	57	57
29.11.2008	22-11	36	69	44	203	24	320	100	45	170	197	83	45
01.12.2008	12-16	19	85	49	200	35	341	30	80	-40	128	51	-167

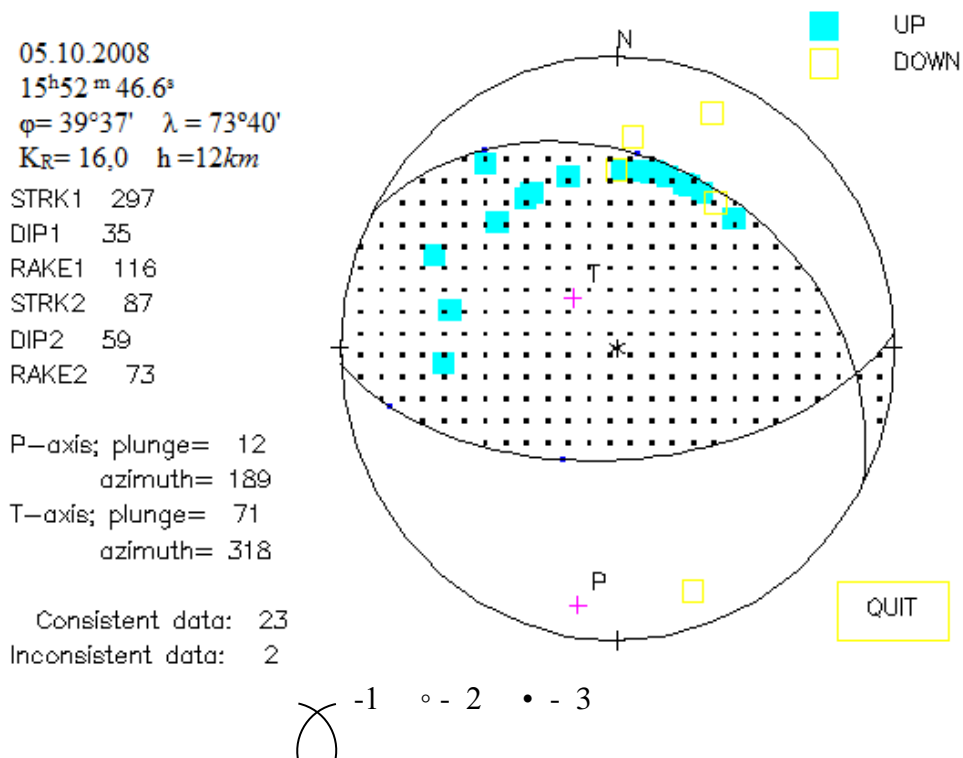


Рисунок 2. Стереграмма механизма очага Нурина 5 октября 2008 г. в проекции нижней полусферы (Source Mechanism): 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 2. Параметры механизма очага Нуринского землетрясения 5 октября 2008 года по двум агентствам (ИС НАН КР и GСMT).

Дата	Время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		NP1			NP2		
		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
05.10.2008	15-52	71	318	15	96	12	189	297	35	116	87	59	73
05.10.2008	15-52	79	31	8	256	7	165	246	38	78	81	53	99

Расчёт механизмов очагов Нуринского землетрясения и его форшоков и афтершоков проводились по методике А.В. Введенской, основанной на знаках смещений в первых вступлениях Р – волн [3]. Использовались сейсмограммы станций юго-западной региональной сети и телеметрических станций и бюллетени из архива ИС НАН КР. Полученные решения механизмов очагов землетрясений представлены в каталоге [4]. Более согласованный результат наблюдается по длиннопериодным оценкам тензора сейсмического момента, полученным в Гарварде [8].

**Форшоки и афтершоки.** В данной статье представлены результаты группового определения механизмов очагов 4 форшоков ( $K_R=7.1\div 8.0$ ) (таблица 3, рисунок 3) и 46 афтершоков ( $K_R=8.6\div 14.5$ ), зарегистрированных до конца 2008 года в эпицентральной области основного события. В качестве примера группового определения механизмов очагов афтершоков из 46 использовалось 8 событий (таблицы 5, 6, 7, 8 и рисунки 4, 5, 6, 7) [5]. Следует отметить, что тип подвижки главного толчка – «надвиговый». Результаты группового определения форшоков – «взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой» даны в таблице 4, афтершоков – «надвиговый», «сдвига-надвиговый», «взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой» – в таблице 9.

Таблица 3. Карточки форшоков Нуринского землетрясения 5 октября 2008 года по данным Института сейсмологии НАН КР.

Форшок 05.01.2008г Время $t_0=07-27$ $\varphi=39^\circ 25'$ $\lambda=73^\circ 30'$	Форшок 20.02.2008г Время $t_0=22-05$ $\varphi=39^\circ 42'$ $\lambda=73^\circ 34'$	Форшок 03.06.2008г Время $t_0=06-21$ $\varphi=39^\circ 42'$ $\lambda=73^\circ 34'$	Форшок 28.07.2008г Время $t_0=08-43$ $\varphi=39^\circ 30'$ $\lambda=73^\circ 31'$
$K_R=8.0$ $h=5$ км с/ст. Z	$K_R=7.5$ $h=5$ км с/ст. Z	$K_R=7.5$ $h=5$ км с/ст. Z	$K_R=7.1$ $h=5$ км с/ст. Z
CHV +ep DRK -ep BTK -ep ARL -ep AKA +ep ARS +ep OSH +ep AKU +ep SFK -ep	TKL -ep	SLA -ep OSH -ep ARS -ep	SLA -ep BTK +ep SFK -ep

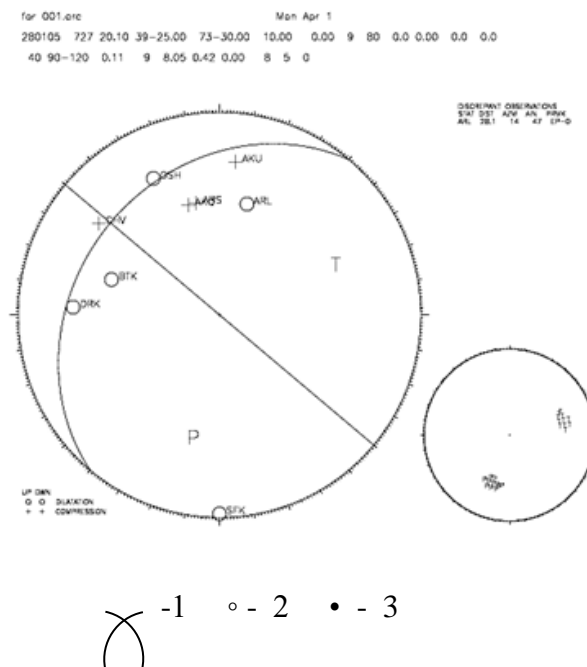


Рисунок 3. Стереограмма группового определения механизмов очагов форшоков Нурина землетрясения в проекции нижней полусферы (FPFIT). 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 4. Параметры группового определения механизмов очагов форшоков Нурина землетрясения 5 октября 2008 года по данным Института Сейсмологии НАН КР.

Дата	Время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		NP1			NP2		
		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
05.01.2008	07-27	38	157	30	310	38	283	40	30	-120	310	90	0

Таблица 5. Карточки афтершоков Нурина землетрясения 5 октября 2008 года.

Землетрясения 05.10.2008			
Время t <sub>0</sub> = 16-11		Время t <sub>0</sub> = 18-27	
Координаты φ=39°34' λ=73°50'		координаты φ=39°31' λ=73°37'	
Энергетический класс K <sub>R</sub> =14.5 глубина h=5км		Энергетический класс K <sub>R</sub> =12.6 глубина h=5км	
Сейсмостанция	Z	Сейсмостанция	Z
CHM	+iP	BTK	-iP
ERK	-iP	TRS	-iP
ALM	-iP	SFK	+iP
KZA	+iP	CHM	+iP
TKM	+iP	ERK	+iP
KBK	+iP	USP	+iP
AAR	+iP	ALM	-iP
UCH	+iP	TKM	+iP
ULH	+iP	KBK	+iP
		AAR	+iP
		ULH	+iP

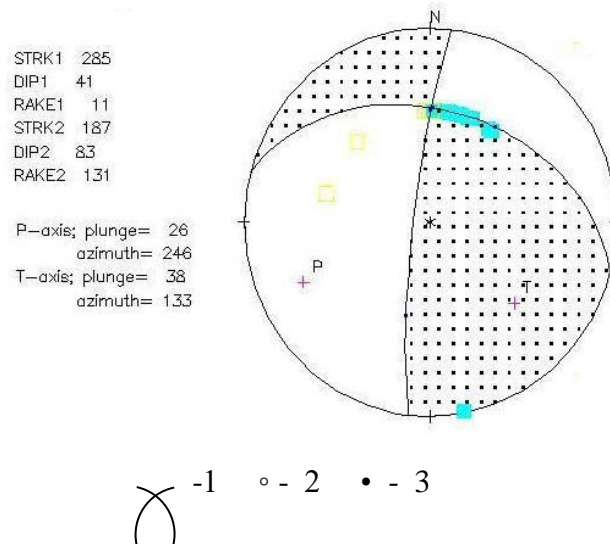


Рисунок 4. Стереогрaмма группового определения механизмов очагов афтершоков Нурина землетрясения в проекции нижней полусферы (Source Mechanism). 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 6. Карточки афтершоков Нурина землетрясения 5 октября 2008 года.

Землетрясения 05.10.2008			
Время $t_0=16-52$		Время $t_0=17-33$	
Координаты $\varphi=39^{\circ}25'$ $\lambda=73^{\circ}33'$		координаты $\varphi=39^{\circ}20'$ $\lambda=73^{\circ}32'$	
Энергетический класс $K_R=11.5$ глубина $h=5$ км		Энергетический класс $K_R=10.6$ глубина $h=5$ км	
Сейсмостанция	Z	Сейсмостанция	Z
CHM	-iP	ВТК	-iP
ERK	+iP		
ALM	-iP		
USP	-iP		
KZA	-iP		
TKM	-iP		
KBK	-iP		
AAR	-iP		
ULHL	-iP		

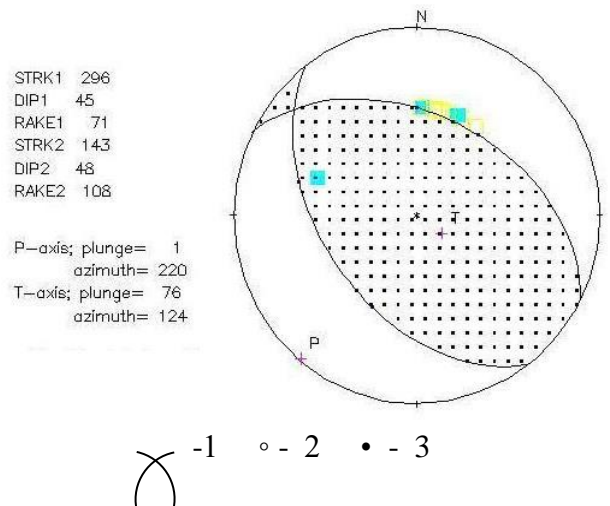


Рисунок 5. Стереогрaмма группового определения механизмов очагов афтершоков Нурина землетрясения в проекции нижней полусферы (Source Mechanism). 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 7. Карточки афтершоков Нуринского землетрясения 5 октября 2008 года.

Землетрясения 06.10.2008			
Время $t_0=00-46$		Время $t_0=00-50$	
Координаты $\varphi=39^{\circ}37'$ $\lambda=73^{\circ}55'$		координаты $\varphi=39^{\circ}34'$ $\lambda=73^{\circ}52'$	
Энергетический класс $K_R=10.8$ глубина $h=5\text{км}$		Энергетический класс $K_R=11.2$ глубина $h=5\text{км}$	
Сейсмостанция	Z	Сейсмостанция	Z
ВТК	+iP	ВТК	-iP
TRS	+iP		
KRM	+iP		
MNS	+iP		
СНМ	-iP		
ЕРК	-iP		
АЛМ	-iP		
УСП	+iP		
КЗА	+iP		
ТКМ	+iP		
КВК	-iP		
ААР	-iP		
УЛН	+iP		

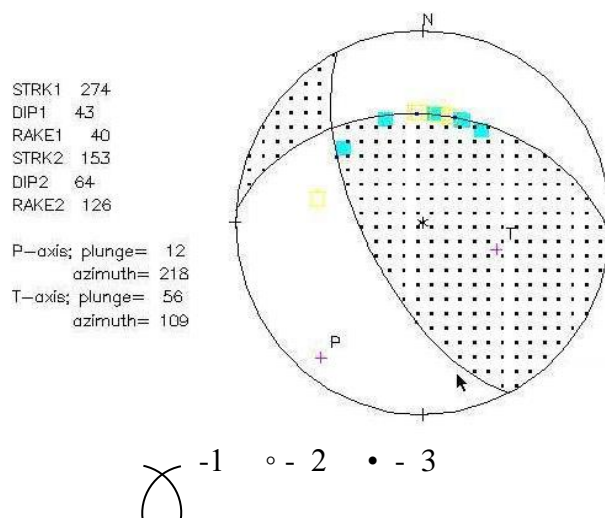


Рисунок 6. Стереограмма группового определения механизмов очагов афтершоков Нуринского землетрясения в проекции нижней полусферы (Source Mechanism). 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 8. Карточки афтершоков Нуринского землетрясения 5 октября 2008 года.

Землетрясения 06.10.2008 г.			
Время $t_0=07-27$		Время $t_0=07-50$	
Координаты $\varphi=39^{\circ}37'$ $\lambda=73^{\circ}36'$		координаты $\varphi=39^{\circ}33'$ $\lambda=73^{\circ}37'$	
Энергетический класс $K_R=10.7$ глубина $h=8\text{км}$		Энергетический класс $K_R=11.8$ глубина $h=5\text{км}$	
Сейсмостанция	Z	Сейсмостанция	Z
TRS	-iP	ВТК	-iP
NRN	+iP	СНМ	+iP
ЕРК	+iP	ЕРК	+iP
MNS	-iP	АЛМ	+iP
KRM	-iP	УСП	+iP
SLA	-iP	КЗА	+iP
ОШН	-iP	ТКМ	+iP
КЗД	-iP	КВК	+iP
ВТК	+iP	ААР	+iP
		УЛН	+iP

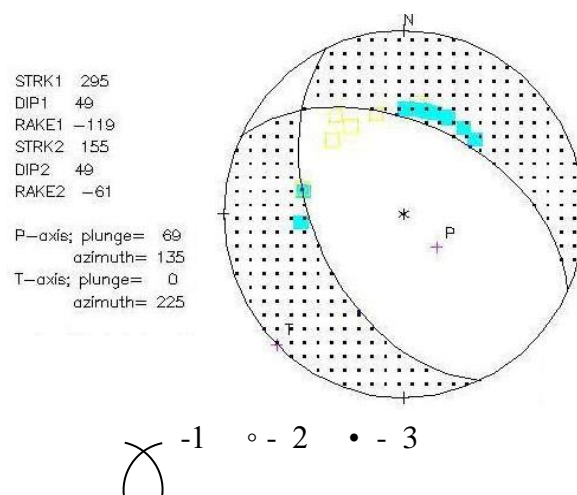


Рисунок 7. Стереодиаграмма группового определения механизмов очагов афтершоков Нурина землетрясения в проекции нижней полусферы (Source Mechanism). 1-нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 9. Параметры группового определения механизмов очагов афтершоков Нурина землетрясения 5 октября 2008 года по данным Института Сейсмологии НАН КР.

Дата	Время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
		<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
05.10.2008	16-11	38	133	41	1	26	246	285	41	11	187	83	131
05.10.2008	16-52	76	124	14	310	1	220	296	45	71	143	48	108
06.10.2008	00-46	56	109	31	316	12	218	274	43	40	153	64	126
06.10.2008	07-27	0	225	22	314	69	135	295	49	-119	155	49	-61

Промежутки времени между афтершоками с 5 октября по 6 октября 2008 г. составляли от 30 минут до 1 часа, далее — от нескольких часов до 1.5 суток. Более поздние повторные толчки проявлялись периодически через 5 - 10 суток. Сильные афтершоки наблюдались вблизи очага главного толчка. Землетрясения с  $K_R \geq 11.0$ , произошедшие в районе в селе Нура, в основном, имели «сдвиг-сбросый» и «взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой» типы подвижек по простиранию, что характерно для зоны Предзаалайского разлома [2].

На рисунке 8 и 9 – представлены стереодиаграммы, а в таблице 10 – параметры механизмов очагов двух сильных землетрясений в районе в селе Нура: 06 мая 2020 г. с  $K_R = 12.5$  и 13 мая 2020 г. с  $K_R = 11.4$ .



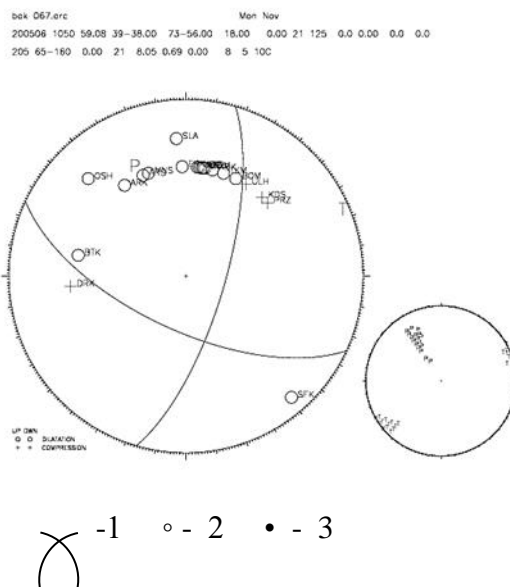


Рисунок 8. Стереодиаграмма механизма очага землетрясения 6 мая 2020 г. ( $K_R=12.5$ ) в проекции нижней полусферы (FPFIT). 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

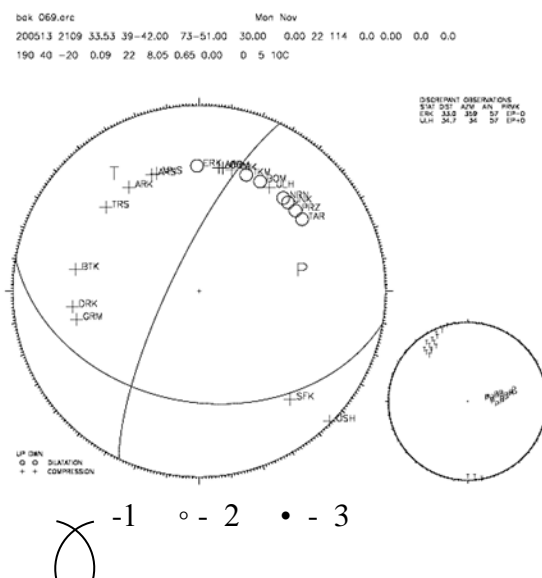


Рисунок 9. Стереодиаграмма механизма очага землетрясения 13 мая 2020 г. ( $K_R=11.4$ ) в проекции нижней полусферы (FPFIT) 1- нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения.

Таблица 10. Параметры механизмов очагов землетрясений 06 и 13 мая 2020 г.

Дата	Время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		NP1			NP2		
		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
06.05.2020	10-50	5	67	58	164	31	334	115	65	-160	16	72	-26
13.05.2020	21-09	23	324	37	216	44	78	100	40	-20	206	77	-128

**Заключение.** Нуринское землетрясение 5 октября 2008 года с магнитудой  $M_{PV} = 6.8$  произошло в результате действия тектонических сил. Перед этим событием наблюдались 4 форшока. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. Очаги главного толчка и 46 рассмотренных нами афтершоков, произошедшими до конца 2008 года, приурочены к Дарваз-Каракульской сейсмоактивной зоне, а именно — к зоне Предзаалайского разлома Ошской области Кыргызской Республики [2].

Выполнен анализ механизмов очагов главного толчка, его форшоков и 46 афтершоков. В очаге главного толчка произошла подвижка надвигового типа. Механизмы очагов форшоков и афтершоков определены групповым методом. Для форшоков характерны взбросы по крутой плоскости или сдвиги по пологой, для афтершоков, в основном, — надвиги, сдвиго-надвиги, взбросы по крутой плоскости или сдвиги по пологой, но иногда встречаются взбросы и сдвиго-сбросы.

Афтершоки Нуринского землетрясения наблюдаются и в настоящее время. Механизмы очагов некоторых событий имеют сдвиговый характер, например, землетрясение 6 мая 2020 г., с  $K_R=12.5$  — сдвиго-сброс, 13 мая 2020 г. с  $K_R=11.4$  — взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой.

### Литература

1. Муралиев А.М., Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С. Механизмы очагов землетрясений Кыргызстана и прилегающих территории за 2014 год. Вестник Института сейсмологии НАН КР. - 2019. - №2(14). - С.68-76.
2. Абдырахматов К.Е., Омуралиев М., Ормуков Ч. Землетрясение Нура. Известия НАН КР — «Известия НАН КР». Бишкек 2008, №4. С.19-29.
3. Введенская А.В. - Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокации. — М: Наука; 1969-136 с
4. Муралиев А.М., Абдыраева Б.С., Малдыбаева М.Б., Мадиярбеков А.А. Каталог механизма очагов землетрясений в Центральной Азии за 2008 год. // Землетрясения Северной Евразии, 2008 г. - Обнинск: ГС РАН 2013г.-Приложение.
5. Отчёт лаб. СМПЗ за 2012-2014 гг. Бишкек - 2014.
6. Reasenberг P.A., Oppenheimer D. - FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions. Open-file report 85-739. Menlo Park, California, 1985. -109 p.
7. Suetsugu D. - Source Mechanism. ISEE, Tsukuba, Japan. 1998. 103 pp
8. Global CMT catalog - [Электронный ресурс]. — <http://www.globalcmt.org>

*Рецензент: к.ф.-м.н. Фролова А.Г.*