

УДК 550.346 (575.2)

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

**МЕХАНИЗМ ОЧАГА ГЛАВНОГО ТОЛЧКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 22.01.2024 Г.
($M_{PV} = 6.9$), КИТАЙ (КНР)**

Аннотация. В статье представлены решения механизмов очага (МО) сильного землетрясения, произошедшего 22 января 2024 года с магнитудой $M_{PV}=6.9$ на территории Китайской Народной Республики (КНР), и некоторых его афтершоков. Деформация подвижек в очагах характеризуется сдвиго-надвиговым типом.

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

**2024-ЖЫЛДЫН 22-ЯНВАРЫНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨНҮН
НЕГИЗГИ СИЛКИНҮҮ МЕХАНИЗМИНИН ОЧОГУ ($M_{PV}=6.9$), КЫТАЙ (КЭР)**

Кыскача мазмуну. Макалада 2024-жылдын 22-январында Кытай Эл Республикасынын аймагында болгон магнитудасы $M_{PV} = 6.9$ болгон жер титирөөлөрдүн очоктук механизминин (ОМ) натыйжалары берилген. Очоктогу кыймылдардын деформациясы жылышуу-козголуу түрү менен мүнөздөлөт.

Негизги сөздөр: механизм, эпицентр, жер титирөө, негизги силкинүү, фокалдык механизм, стереограмма, нодалдык тегиздик, башкы чыңалуу октору

**THE FOCAL MECHANISM OF THE MAIN SHOCK OF THE EARTHQUAKE
ON JANUARY 22, 2024 ($M_{PV}=6.9$), CHINA**

Abstract. The article presents the results of the focal mechanisms (FM) of the strong earthquake that occurred on January 22, 2024 with a magnitude $M_{PV}=6.9$ in the territory of the People's Republic of China, and some aftershocks. The deformation of motions in the sources is characterized by a strike-slip type.

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

Исходные данные и методика определения

Изучение механизмов очагов необходимо для характеристики напряжённо-деформированного состояния очаговой зоны сильных землетрясений. Эта работа трудоёмка и имеет специфический характер, связанный с наличием особенностей волновой картины землетрясений. Достоверность определения кинематических и динамических параметров очагов землетрясений, прежде всего, зависит от системы наблюдений в ближней и дальней зоне. При определении механизма очага (МО) землетрясений необходимо использовать достаточное количество данных от сейсмических станций не только Кыргызстана, но и сейсмических станций соответствующих соседних государств (Казахстан и Китай) [1]. В статье рассматриваются вопросы, связанные с характером подвижек механизма очага основного толчка землетрясения 22.01.2024 г. с магнитудой $M_{PV}=6.9$. В таблице 1 представлены параметры исследуемого землетрясения.

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 22.01.2024 г. с магнитудой $M_{PV}=6.9$ (данные ЦД ИС НАН КР).

Сейсмические службы	t_0 , час, мин., сек.	φ , широта	λ , долгота	h, км	M_{PV} , магнитуда	K_R , класс
ИС НАН КР	18:09:04.3	41°16'	78°34'	16	6.9	15.5

В качестве исходных данных были использованы знаки первых вступлений Р-волн, замеренные по записям цифровых станций сетей KARNET (ИС НАН КР) и KNET (ИС РАН), а также данных станций Республики Казахстан и КНР. Всего при анализе были использованы данные 39 станций, а именно 29 станций, установленных на территории Кыргызстана, 9 станций Казахстана и 1 станции Китая (таблица 2).

Таблица 2. Знаки первых вступлений Р-волн по данным региональных станций (цифровые данные).

Чис.мес.год. время в очаге	ААК	АРК	АРЛС	АРСВ	ВООМ	ВТК	СНМС	ДРК	ЕКС2	ФРУ1	ЖНКС	КВК	КДЖ
22.01.2024г 18-09-04.31	-ip	+ep	+ip	+ep	-ip	+ep	-ip	+ip	+ip	+ip	+ip	+ep	-ip

Продолжение таблицы 2.

КРВК	КУ21	КУ22	КУ23	МНАС	НРН	ОНН	РДГК	РРЗ	САЛК	СФК	ШЛС	ТАРГ
-ep	-ip	+ip	-ep	+ep	+ip	+ep	-ip	-ip	+ip	+ep	-ip	-ip
ТРС	ТЛГ	ТКМ2	УЛЛ	УСП	КАПС	КУРС	МДОК	МРКС	ААА	БРЛС	САТ	УС
-ep	-ip	-ip	-ep	-ip	+ip	-ip	+ip	+ip	-ip	+ip	-ip	-ep

Определение МО землетрясений выполнено по методике А.В. Введенской [2]. С помощью компьютерной программы «Source mechanism» [3] построена стереограмма фокального механизма для данного землетрясения, а также некоторых его афтершоков.

Результаты

Сильное землетрясение с $M_{PV}=6.9$ произошло 22 января 2024 г. в 18^h09^m на территории КНР, в 75 км к юго-востоку от Кумтор, в 137 км к юго-востоку г. Каракол, в 150 км юго-востоку от пгт. Каджи-Сай, в 218 км к юго-востоку от г. Нарын, в 370 км к юго-востоку от г. Бишкек (координаты $\varphi=41^{\circ}16' N$, $\lambda=78^{\circ}34' E$). В населённых пунктах Кыргызской Республики интенсивность землетрясения составила: Кумтор - 6 баллов, пгт. Каджи-Сай, Джети-огузский район - 4.5 балла, Тонский район - 4.5 балла, Ак-Суйский, Тюпский, Иссык-Кульский районы, г. Нарын, г. Бишкек, г. Балыкчы- 4 балла (данные ЦД ИС НАН КР). Для этого землетрясения имеется 4 решения механизма очага (таблица 3), рассчитанные по методу А.В. Введенской [2] – ИС НАН КР (рисунок 1), по методу тензора момента центра в Колумбийском центре США (GCMT) [4], по методу тензора момента в IGP- Institute for Petroleum Research and Geophysics [5] и AUST-Geoscience Australia [6], которые близки по своей сути (рисунок 2). Стереограмма механизма очага землетрясения 22.01.2024 г., построенная по данным знаков первых вступлений Р-волн, замеренных по записям 39 сейсмических станций региона (Кыргызстан, Казахстан и КНР) на расстояниях $\Delta=69-669$ км в широком азимутальном окружении, представлена на рисунке 1. В большинстве случаев знаки первых вступлений Р-волн чёткие. Ось напряжения-сжатия в очаге имеет северо-западное направление. Азимут 318° , угол падения 0° . Ось напряжения-растяжения направлена на юго-запад.

Азимут 228° , угол падения 64° . Ось промежуточного напряжения ориентирована на северо-восток. Азимут 47° , угол падения 25° . Азимут простирания первой нодальной плоскости $STK=251^\circ$, угол падения составляет $DP=51^\circ$, угол скольжения $SLIP=124^\circ$. Азимут простирания второй нодальной плоскости $STK=25^\circ$, угол падения $DP=50^\circ$, угол скольжения $SLIP=56^\circ$. Результаты решения представлены в таблице 3. На стереографической проекции нижней полусферы знаки сжатия и растяжения разделились нодальными плоскостями по программе «Source mechanism» [3]. Подвижка в очаге землетрясения - «сдвиго-надвиг» (рисунок 1). Данные по GCMТ – «сдвиго-надвиг» [4] (рисунок 2), IPGP – «сдвиго-надвиг» [5] и AUST – «взброс» [6] (рисунок 2). Сейсмический толчок произошёл в горизонтальном направлении.

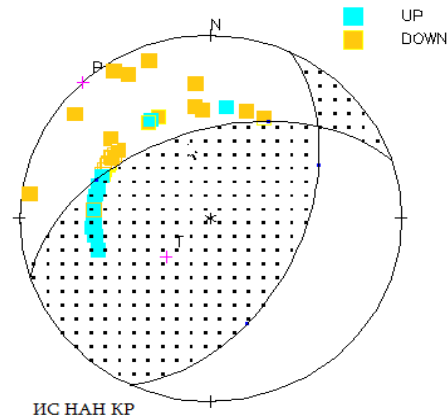


Рисунок 1. Стереограмма механизма очага землетрясения 22 января 2024 года с глубиной гипоцентра $h=16$ км, магнитудой $M_{PV}=6.9$ в проекции нижней полусферы, полученная по программе «Source mechanism» [2]. Условные обозначения: Р-ось напряжения - сжатия, Т-ось напряжения - растяжения.

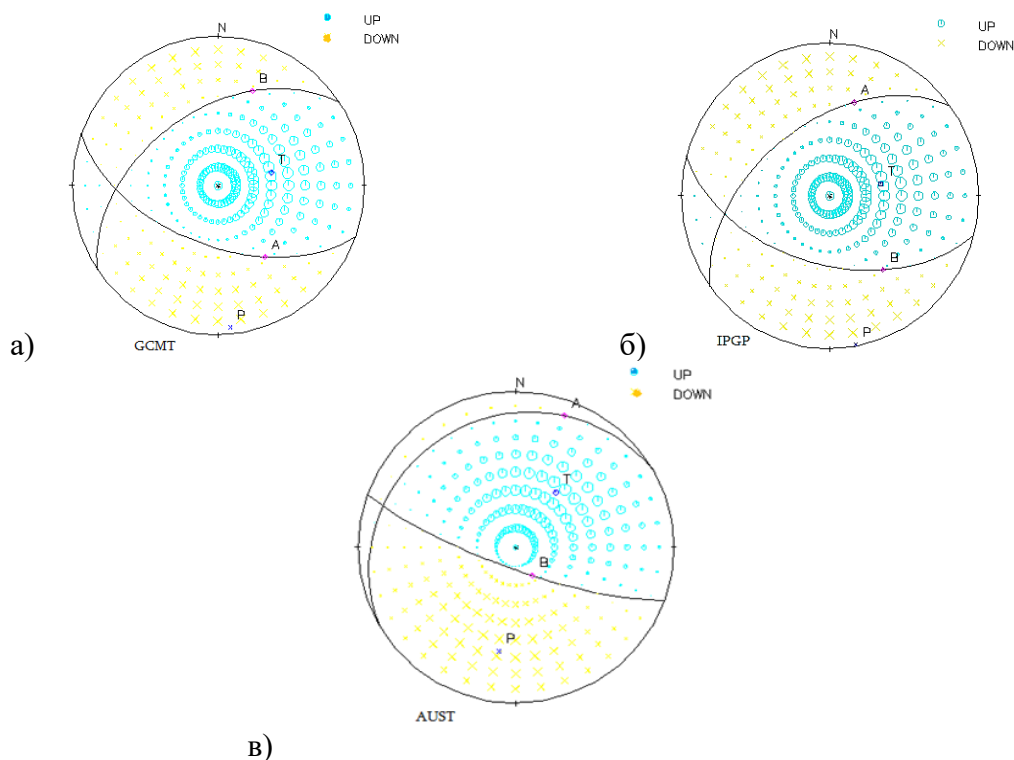


Рисунок 2. Стереограмма механизма очага землетрясения 22 января 2024 г., энергетический класс $K_R=15.5$, время в очаге $t_0=18^h09^m04.3^s$, координаты $\phi=41^\circ16'$; $\lambda=78^\circ34'$: а) данные GCMТ [4]; б) IPGP [5]; в) AUST [6].

Таблица 3. Параметры механизма очага землетрясения, произошедшего 22 января 2024 г., по данным четырёх агентств (Source mechanism, GCMT, IPGP и AUST).

Агентство	t_0 ч мин	h , km	M_{pv}	K_R	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
ИС НАН КР	18-09	12	6.8	15.5	64	228	25	47	0	318	251	51	124	25	50	56
GCMT	18-09	14		15.5	59	76	29	269	5	175	236	48	47	110	57	127
IPGP	18-09	22		15.5	61	77	30	258	1	170	105	53	127	234	50	51
AUST	18-09	15		15.5	36	54	12	288	33	189	110	79	103	240	17	41

Афтершоки. Для изучения Китайского землетрясения была произведена выборка из каталога землетрясений Кыргызстана (ИС НАН КР). Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками, зарегистрированными сейсмическими станциями Кыргызстана (серия афтершоков прослеживается и в настоящее время). Суммарное число афтершоков на 29.02.2024 г. составило $N_{афт}=2882$, энергетический диапазон $K_R=4.2 - 13.4$. Очаги этих землетрясений расположены в земной коре на глубинах от 10 до 35 км. В качестве примера, в таблице 5 приводится решение механизма очага афтершока с $K_R = 13.1$, полученное по программе «Source mechanism» (рисунок 3). В таблице 4 дано распределение количества афтершоков по энергетическим классам. На рисунке 4 показана карта эпицентров землетрясений основного толчка $K_R=15.5$ и афтершоков с $K_R = 6.6 - 13.1$ с 22.01.2024 г. по 25.01.2024 г. Построенная по данным таблицы 5 стереограмма механизма очага афтершока (рисунок 3) относительно главного толчка приводит к интересным выводам. В частности, система напряжений в очаге максимального афтершока изменилась относительно таковой в очаге главного толчка, меньшей степени для сжатия (напряжения сжатия оказались более горизонтальны – для афтершока стало $PL_P=82$, а было для главного толчка $PL_P=0$) и в большей степени – для растяжения (наклон к горизонту этой оси возрос с 1 до 64). Это изменило тип подвижки с чистого сдвига-надвига на чистый надвиг. При этом одна из нодальных плоскостей, которая ориентирована на юго-западное направление, почти не претерпела изменений – для главного толчка $STK_{гл}=251$, для афтершока $STK_{афт}=280$, хотя она стала менее крутой – DP уменьшилась с 51 до 45. Другая плоскость для главного толчка была северо-восточный ($STK_{гл}=25$) и не крутой ($DP_{гл}=50$), для максимального афтершока стала почти северо-восточной ($STK_{афт}=85$) и крутой ($DP_{афт}=79$).

Таблица 4. Распределение афтершоков землетрясения 22.01.2024 г., произошедших с 22.01.2024 г. по 29.02.2024 г. по энергетическим классам.

K_R , класс	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Итого
N/эп	4	377	1045	729	351	202	95	52	16	11	2882

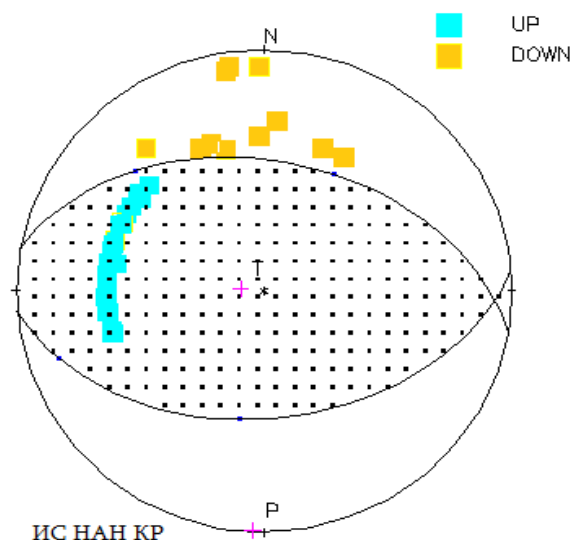


Рисунок 3. Стереограмма механизма очага землетрясения афтершока 22 января 2024 года с глубиной гипоцентра $h=20$ км, магнитудой $M_{pv}=5.7$ в проекции нижней полусферы по программе «Source mechanism» [3]. Условные обозначения: P-ось напряжения- сжатия, T- ось напряжения -растяжения.

Таблица 5. Параметры механизма очага афтершока, произошедшего 22 января 2024 г.

Агентство	t_0 ч мин	h , км	M_{pv}	K_R	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
ИС НАН КР	18-42	20	5.7	13.1	82	277	7	91	1	183	280	45	101	85	46	79

На основе анализа фактического сейсмологического материала, построена карта пространственно-временного распределения эпицентров сильных землетрясений и распределения ориентации осей главных напряжений сжатия в очагах исследованных землетрясений (рисунок 4). В пределах РОЗ, в процессе подготовки сильного землетрясения, устойчивость направления осей напряжения сжатия в очагах слабых толчков нарушается. На территории Кыргызстана и прилегающих районов выделены 21 РОЗ [7]. Эпицентры сильных ($K_R \geq 13.0$) землетрясений, образуя цепочки эпицентров, распределены в пяти зонах (I-V): Северо Тянь-Шаньская (I), Чаткало-Южно-Иссык-Кульская(II), Приферганская (III), Какшаальская (IV) и группа эпицентров 13-16 энергетических классов землетрясений в Центральном Тянь-Шане (V). Общая сейсмологическая и геолого-геофизическая характеристика указанных зон приведена в работе [8]. Землетрясение Учтурфан (22.01.2024 г., время в очаге $t_0=18^h09^m$) относится в Кокшаальской сейсмоактивной зоне (IV), сейсмической брешы 1-го рода и их расположение по исследуемой территории следует принимать как районы ожидаемых сильных землетрясений РОЗ-15 (рисунок 4).

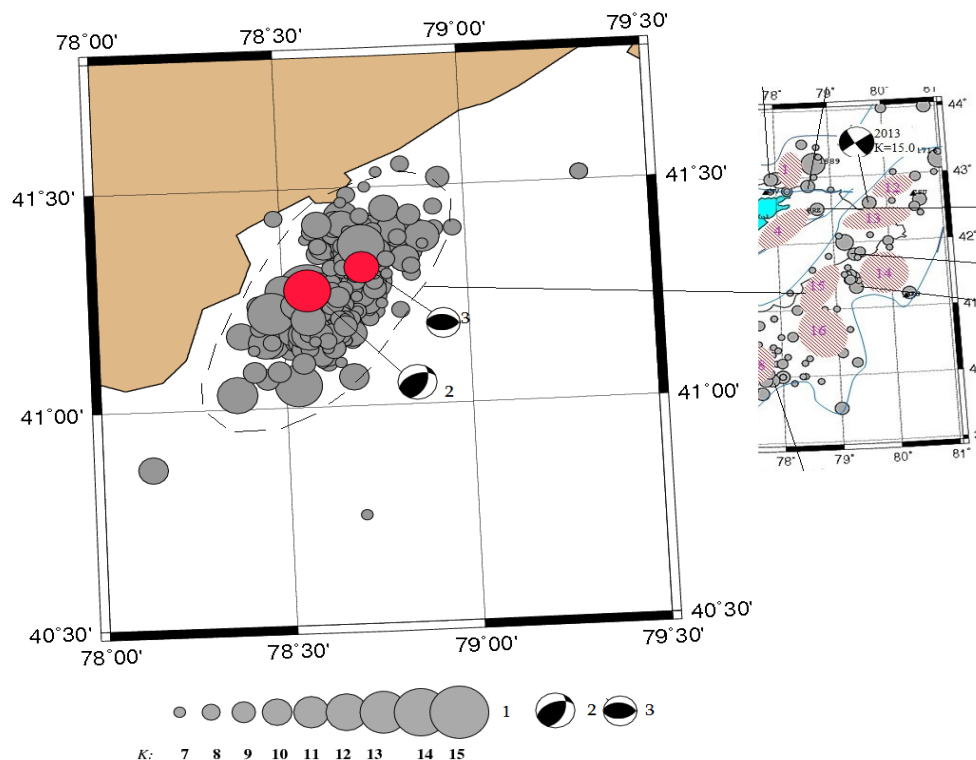


Рисунок 4. Карта эпицентров землетрясений основного толчка с $K_R = 15.5$ и афтершоков с $K_R = 6.6-13.1$, произошедших с 22.01.2024 г. по 25.01.2024 г. Условные обозначения: 1- очаги землетрясений; 2 -механизм очага основного толчка $K_R = 15.5$; 3-механизм очага афтершока с $K_R = 13.1$.

Заключение. Исследуемое землетрясение с энергетических классов $K_R = 15.5$ (22 января 2024 года, Китай) произошло в результате воздействия тектонических сил, действующих в земной коре в горизонтальном сжатии и близвертикальном растяжении на территории Китая. После основного толчка в настоящее время фиксируется ряд сильных и слабых афтершоков. Очаг землетрясения приурочен к разлому, расположенному в Северо-Кокшаальской зоне. Изучение механизмов очагов основного толчка и некоторых афтершоков позволило сделать вывод, что в очаге основного толчка произошла подвижка «сдвига-надвигового» типа (таблица 3), а в очаге приведённого афтершока – «надвиг» (таблица 5). Результат решения фокального механизма очага землетрясения (22.01.2024 г.) в ИС НАН КР достаточно хорошо согласуется с результатами определения МОЗ другими методами, полученными в международных центрах (GCMТ, IРGР, АUST) (рисунок 2 и таблица 3).

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. Введенская А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокации. М.: Наука. 1960.-136 с.
3. Suetsugu D. Source Mechanism. IISSE Lecture note Global Course, Tsukuba, Japan. 1998. 103 pp.
4. The Global CMT Project, Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, NY, USA; <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.

5. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms/> IGP- Institute for Petroleum Research and Geophysics.
6. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/fmechanisms/> AUST- Geoscience Australia.
7. Муралиев А.М., Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С. и др. «Оценка сейсмической опасности территории Баткенской области Кыргызской Республики». Отчёт лаб. ПЗ. Фонды ИС НАН КР, Бишкек. 2020. С.-42-44.
8. Джанузаков К.Дж., Ильясов Б.И., Кнауф В.И. и др. «Сейсмическое районирование Киргизской ССР» Фрунзе: Издательство «Илим», 1977 г.-53.

Рецензент: д. ф.-м.н., Токтосопиев А.М.