

УДК 550.34

## Ощутимое землетрясение 4 марта 2024 г., $M_w=5.0$ , в районе хребта Кюнгёй–Ала–Тоо

© 2024 г. И.Н. Соколова<sup>1</sup>, А.В. Берёзина<sup>2</sup>, Е.В. Першина<sup>2</sup>, И.П. Габсатарова<sup>1</sup>, И.Л. Аристова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия; <sup>2</sup>ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан;

<sup>3</sup>ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Поступила в редакцию 15.11.2024 г.

**Аннотация.** Представлены результаты анализа инструментальных и макросейсмических данных Кунгейского землетрясения 4 марта 2024 г. на границе Кыргызстана и Казахстана в области Кеминно-Чиликского разлома. Гипоцентр землетрясения приурочен к очаговой зоне катастрофического Кеминского землетрясения 1911 г. с  $M_w=8.2$ . Землетрясение 4 марта 2024 г. произошло под действием субмеридионального близгоризонтального сжатия, что типично для очагов Северного Тянь-Шаня. Тип движения в очаге по крутопадающей плоскости  $NPI$  юго-западного простирания – взброс с левосторонней сдвиговой компонентой, по плоскости восточного простирания – надвиг с правосторонней сдвиговой компонентой. Перед Кунгейским землетрясением образовалась кольцевая структура, сформированная землетрясениями с глубинами до 33 км, которая является прогностическим фактором сильных коровых землетрясений. Землетрясение ощущалось в г. Алматы и пригородах с интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64 и оказало самые значительные воздействия на мегаполис после Байсорунского землетрясения 1990 года. Собраны данные о макросейсмическом воздействии Кунгейского землетрясения на территории Казахстана и Кыргызстана. Проведен анализ записей приборов сильных движений по данным станций Центральной Азии.

**Ключевые слова:** сильное землетрясение, Северный Тянь-Шань, механизм очага, сильные движения, интенсивность.

**Для цитирования:** Соколова И.Н., Берёзина А.В., Першина Е.В., Габсатарова И.П., Аристова И.Л. Ощутимое землетрясение 4 марта 2024 г.,  $M_w=5.0$ , в районе хребта Кюнгёй–Ала–Тоо // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 4. – С. 7–23. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.4.01>. – EDN: PBMUW

### Введение

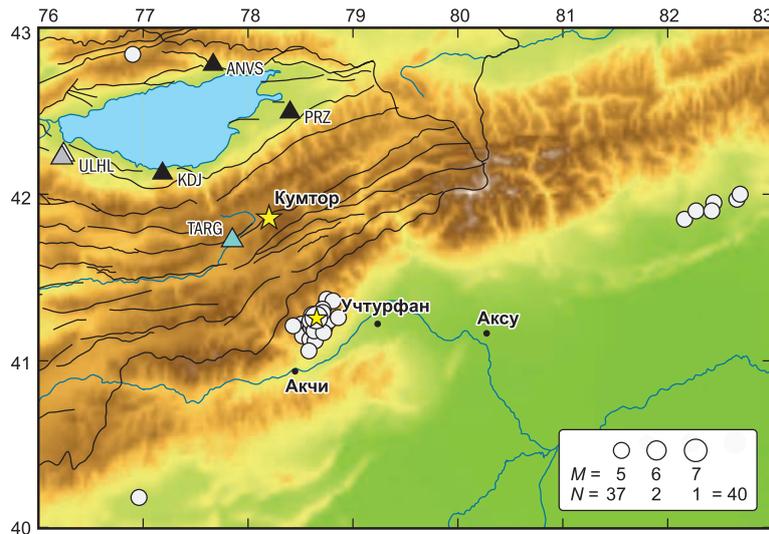
4 марта 2024 г. в 6 ч 22 мин UTC (12 ч 22 мин местного времени) в районе хребта Кюнгёй–Ала–Тоо (кирг. Күнгөй Ала-Тоо, каз. Күнгей Алатау) Северного Тянь-Шаня, вблизи крупнейшего мегаполиса Казахстана г. Алматы произошло землетрясение с  $K_p=12.7$ ,  $M_w=5.0$ , названное «Кунгейское», которое ощущалось на обширной территории Казахстана и Кыргызстана. Уникальность этого землетрясения состоит в том, что, во-первых, его гипоцентр приурочен к эпицентральной зоне Кеминского землетрясения 1911 г. [Нурмагамбетов, 1999; Kulikova, Krüger, 2015; Мукамбаев, Михайлова, 2014; Абдрахматов и др., 2022], во-вторых, Кунгейское землетрясение ощущалось в Алматы и его пригородах с интенсивностью 5 баллов (здесь и далее

интенсивность сотрясений приведена в баллах по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]) и оказало самые значительные воздействия на мегаполис после Байсорунского землетрясения 1990 г. [Нурмагамбетов и др., 1996], в-третьих, в рассматриваемом районе длительный период (34 года) не было землетрясений с магнитудой  $M>5$ .

Следует отметить, что за 42 дня до Кунгейского землетрясения 4 марта 2024 г., 22 января 2024 г. в 18 ч 06 мин UTC в районе хребта Кокшаал (Южный Тянь-Шань) произошло сильное Учтурфанское землетрясение с  $M_w=7.0$  [Соколова и др., 2024], которое ощущалось на большей части территории Казахстана. Максимальная интенсивность  $I=5$  баллов наблюдалась в Алматы и его пригородах. Несколько десятков человек в городе получили травмы, на территории Алматинской области обнаружены трещины

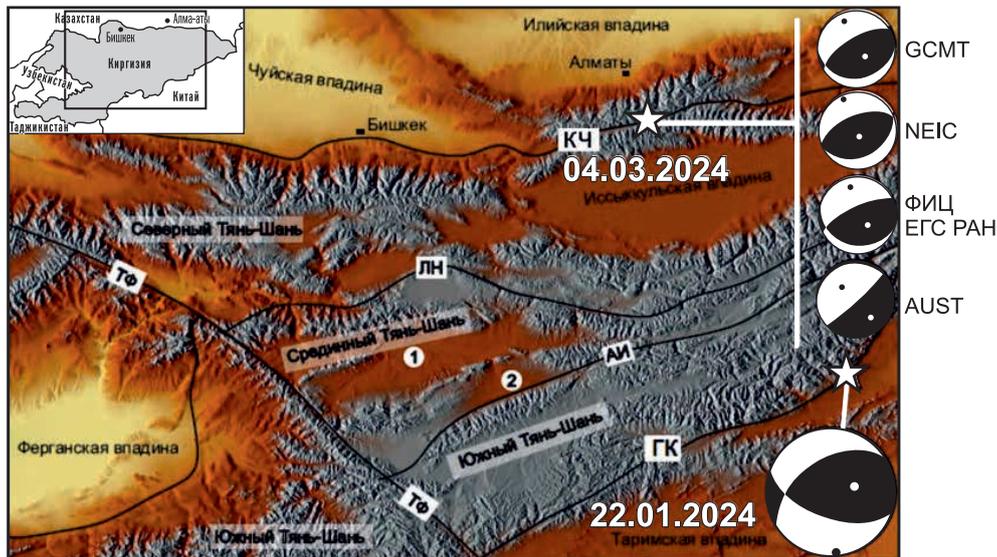
на 44 объектах, среди них школы и больницы [Соколова и др., 2024]. Расстояние между эпицентрами Кунгейского и Учтурфанского землетрясений составило ~225 км. Отметим, что Кунгейское землетрясение – не единственное землетрясение умеренной силы с  $M_w \sim 5$ , которое произошло непосредственно сразу после Учтурфанского землетрясения в районе Центрального и Восточного Тянь-Шаня. Такие землетрясения произошли в районе Восточного Тянь-Шаня, вблизи г. Куча СУАР (Синьцзян-Уйгурский авто-

номный район) КНР и в других районах (рис. 1). Большинство из этих землетрясений были ощутимыми в населённых пунктах Центральной Азии. Таким образом, Учтурфанское землетрясение 2 января 2024 г. повлияло на сейсмический режим обширного региона Центральной Азии. На рис. 2 показаны эпицентры землетрясений 22 января 2024 г. и 4 марта 2024 г. и главные тектонические элементы Центрального Тянь-Шаня и сопредельных территорий.



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений с  $M_w \geq 4.7$  в районе Тянь-Шаня после Учтурфанского землетрясения за период с 22 января по 22 мая 2024 г.

Звёздочками показаны эпицентры землетрясений 22 января и 4 марта 2024 г.



**Рис. 2.** Главные тектонические элементы Центрального Тянь-Шаня и сопредельных территорий по [Присялговский и др., 2022]. На врезке вверху слева – схема с границами государств

Звёздочками показаны эпицентры землетрясений 22 января и 4 марта 2024 года. Разломные ограничения Среднего Тянь-Шаня: Таласо-Ферганский сдвиг (ТФ), Линия Николаева (ЛН), Атбаш-Иньльчекский разлом (АИ), Гиссаро-Кокшаальский разлом (ГК), Кемино-Чиликский разлом (К). В правом нижнем углу представлен механизм Учтурфанского землетрясения 22 января 2024 г. по данным центра GCMT

### Инструментальные данные

В настоящее время Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР) проводит обработку записей землетрясений в несколько этапов: автоматическое определение основных параметров землетрясения при помощи программного комплекса SeisComp4; оперативное определение параметров для Службы срочных донесений; финальная интерактивная обработка с добавлением к сейсмическим записям сети мониторинга KRNET ИС НАН КР сейсмограмм других региональных сетей (рис. 3), доступных через центр EarthScope (IRIS DMC до 2023 г.). Определение времён вступлений  $P$ - и  $S$ -волн, замеры амплитуд производились по программе «dbpick» (пакет программ «Datascop») [Quinlan, 1998]. Для определения гипоцентра использовалась скоростная модель земной коры, полученная для территории Кыргызстана [Сабитова и др., 2006]. Основные параметры землетрясения (дата, время, координаты, глубина, класс, магнитуда) определялись с помощью программы «Hypoellipse» [Lahr, 2012], которая была адаптирована для Центральной Азии согласно утверждённым методам сбора и обработки данных. В качестве динамических параметров землетрясения использовались энергетический класс по шкале Т.Г. Раутиан  $K_p$  [Раутиан, 1964] и магнитуда  $MPVA$  по объёмным волнам [Михайлова, Неверова, 1986].

Для локализации гипоцентра Кунгейского землетрясения были использованы данные 22 сейсмических станций в диапазоне эпицентральных расстояний от 66.5 км (станция «Ананьево», ANVS) до 596 км («Баткен», ВТК). На рис. 3 представлена конфигурация системы наблюдения. На рис. 4 представлены сейсмические записи землетрясения. В табл. 1 приводятся параметры землетрясения 4 марта 2024 г., полученные различными сейсмологическими центрами [Search Earthquake Bulletin, 2024; Search Earthquake Catalog, 2024], а на рис. 5 показана карта расположения эпицентра землетрясения по данным различных региональных и глобальных сейсмологических центров. Решение ИС НАН КР приурочено к северной части Кеминского разлома. Следует отметить, что у Кунгейского землетрясения не было зарегистрировано ни одного афтершока.

В бюллетене Международного сейсмологического центра ISC приведены результаты построения механизма очага по методу центроида тензора момента в трёх центрах: GCMT (Lamont Doherty Earth Observatory (LDEO), Columbia University), NEIC (National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey) и AUST (Geoscience Australia). Параметры этих решений в пересчёте на модель двойной пары сил (Double Couple), а также решение ФИЦ ЕГС РАН (код центра OBGSR) по знакам первых вступлений  $P$ -волн, представлены в табл. 2; диаграммы решений из табл. 2 приведены на рис. 2.

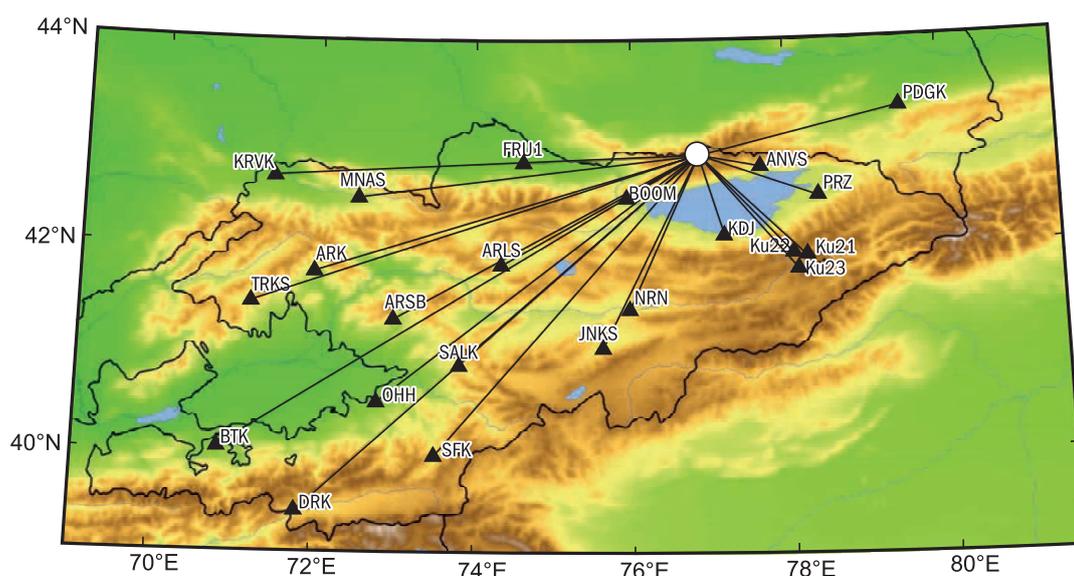


Рис. 3. Карта расположения эпицентра Кунгейского землетрясения 4 марта 2024 г. и сейсмических станций, данные которых участвовали в обработке

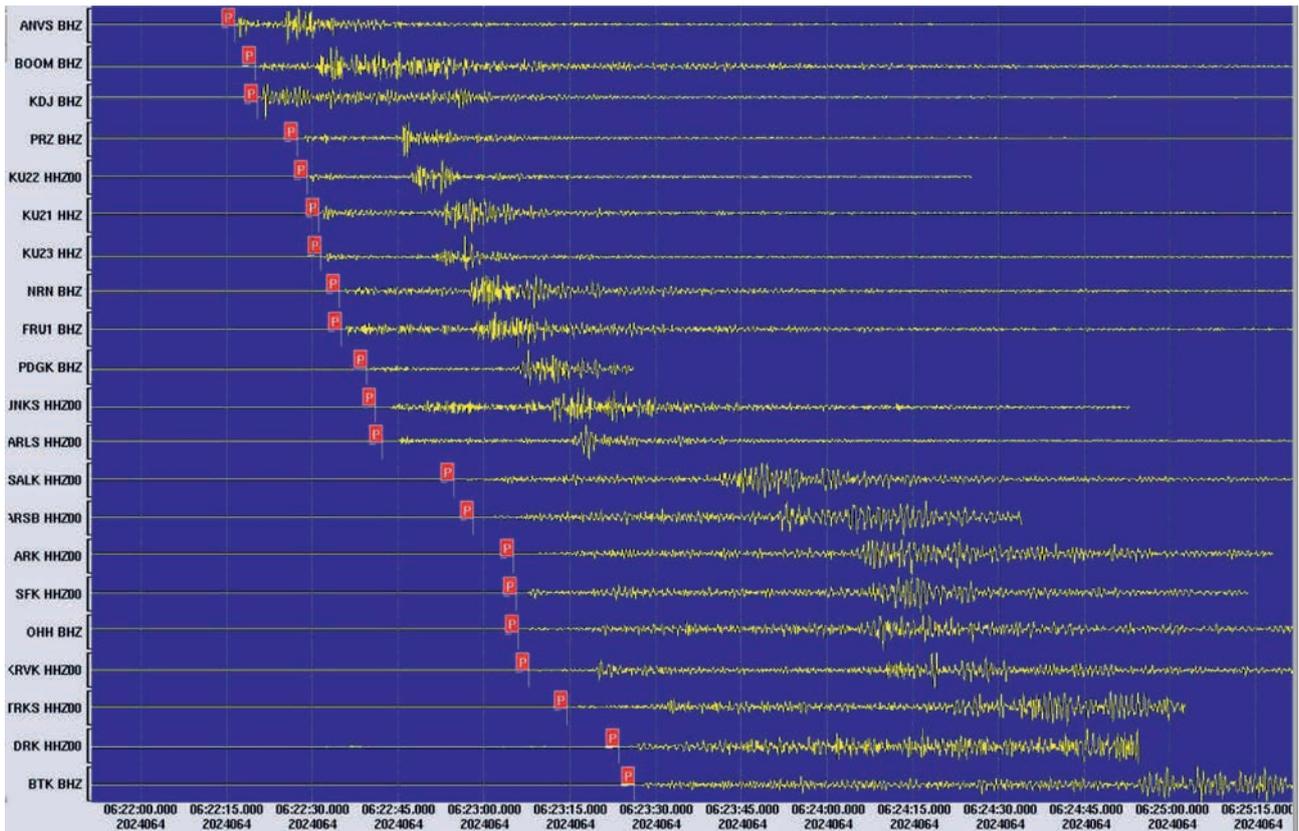


Рис. 4. Сейсмограммы Кунгейского землетрясения. Z-компоненты, фильтр СКМ

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 4 марта 2024 г. по данным ИС НАН КР и других сейсмологических центров

Центр	$t_0$ , чч:мм:сс.с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда/ $N_{ст}$	Окружение эпицентра			
			$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E	$S_{maj}$	$S_{min}$	$h$ , км	$\delta h$ , км		$N_{ст}$	$\Delta_{min}$ , °	$\Delta_{max}$ , °	$Gap$ , °
ИС НАН КР	06:22:05.0	0.1	42.907	76.871			22		$MPVA=5.8$ $M_S=4.6$ $K_p=12.7$ $M_w=5.0$	22	0.60	5.36	168
НС РАН	06:22:06.6	0.28	42.899	76.661	2.2	1.5	10.3	1.8	$mI=5.0$		0.72	2.13	37
ССД ФИЦ ЕГС РАН	06:22:05		42.95	76.89			10	fix	$mb=5.5/21$	21	0.86	80.52	44
CSEM	06:22:04.4	0.39	42.877	76.989	2.8	2.2	20		$mb=5.3$	500	0.34	154.65	15
NEIC	06:22:07.2	0.92	42.836	76.897	9.58	6.5	28.3	4.2	$M_{ww}=4.7/10$ $mb=5.2/404$	495	0.74		42
IDC REV	06:22:02.3	0.34	42.861	76.893			0	fix	$ML=4.6/6$ $mb=4.8/47$ $MS=4.3/59$	90	1.78	155.71	50
AUST	06:22:08.3	0.49	42.893	76.899	3.67	3.0	33.9	4.17	$M_{wp}=5.1/2$ $ML=5.5/6$	137	1.79	95.49	27
BUC	06:22:05.4	0.42	42.693	77.056	12.2	4.5	10.0	fix			20.80	45.68	167
ИГИ НЯЦ РК (KNDC)	06:22:06.1	0.68	43.017	78.847	9.2	3.2	13.8		$MPV=5.3$ $mb=5.6$ $K_p=12.3$	13	0.22	14.83	135

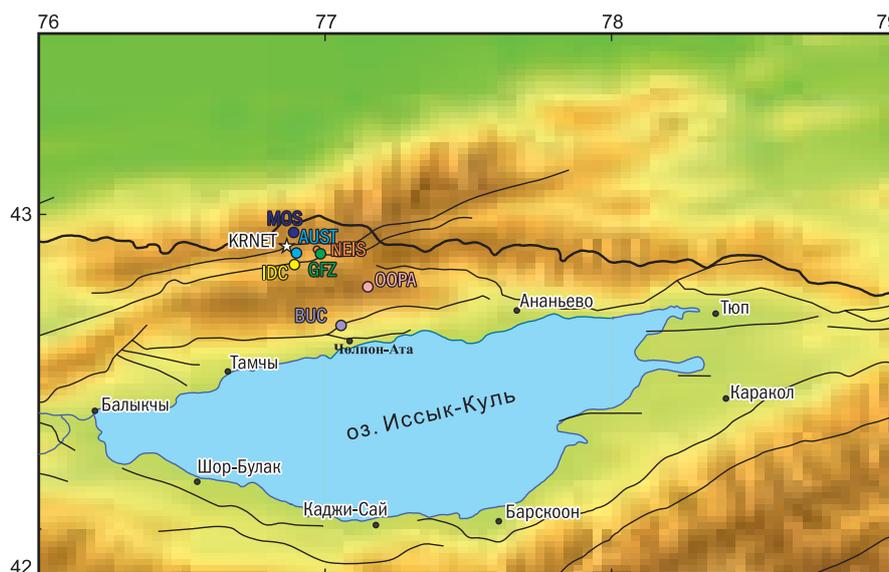


Рис. 5. Расположение эпицентра Кунгейского землетрясения по данным разных сейсмологических центров согласно табл. 1

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 4 марта 2024 г. по данным различных сейсмологических центров

Центр	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
	T		N		P		NP1			NP2		
	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP/Rake	STK	DP	SLIP/Rake
GCMТ	66	131	10	243	22	337	85	25	114	239	67	80
NEIC	77	167	2	66	13	336	62	32	85	248	58	93
AUST	37	140	3	48	52	313	47	82	-93	251	8	-66
ФИЦ ЕГС РАН	59	131	16	249	26	347	244	73	74	109	24	132

В ФИЦ ЕГС РАН механизм очага Кунгейского землетрясения был определён по знакам первых вступлений *P*-волн на 52 станциях, хорошо окружавших эпицентр и удалённых на расстояния  $\Delta=0.8-27^\circ$ . На 23 станциях зарегистрированы волны сжатия, на 29 – растяжения. Решения трёх центров (GCMТ [Global CMT ..., 2024], NEIC [Search Earthquake Catalog, 2024] и ФИЦ ЕГС РАН) очень близки, что можно видеть на диаграммах механизмов (рис. 2), и представлены взбросами с незначительными сдвиговыми компонентами. Решение Австралийского центра несколько отличается по типу подвижки, представляющей взрез. Однако простирание одной из нодальных плоскостей (юго-западного простирания) близко к таковому в решениях вышеуказанных центров.

Землетрясение произошло под действием близмеридионального сжатия, что типично для очагов Северного Тянь-Шаня. Как отмечалось в [Михайлова, Полешко, 2005], этот район хорошо изучен с точки зрения деформационного

состояния, большая часть событий здесь имеет взбросовый характер подвижки со сдвиговой компонентой. Тип движения в очаге по крутопадающей плоскости *NP1* или *NP2* юго-западного простирания – взброс с левосторонней сдвиговой компонентой, по плоскости северо-восточного и восточного простирания – взброс с правосторонней сдвиговой компонентой (рис. 2).

### Историческая сейсмичность района

Центральный Тянь-Шань по уровню сейсмичности является одной из наиболее активных областей земного шара (рис. 6). За последние 135 лет здесь произошло два катастрофических землетрясения с  $M>8.0$  – Чиликское землетрясение 1889 г. и Кеминское (Кебинское) землетрясение 1911 года. Они вызвали поверхностные разрывы протяжённостью более 100 км и косейсмические смещения на несколько метров [Абдрахматов и др., 2022].

Разрывы, вызванные Кеминским землетрясением, повлёкшим за собой разрушения в г. Верном (Алматы), были нанесены в то время на карту с помощью подробного полевого исследования [Богданович, 1911], и сегодня они легко прослеживаются на поверхности [Абдрахматов и др., 2022]. Они весьма информативны, так как показывают приблизительное смещение (до 10 м) и длину поверхностных разрывов (~ 200 км), ожидаемых от землетрясения магнитудой 8 и более.

Основные параметры Кеминского землетрясения следующие [Новый каталог ..., 1977; Абдрахматов и др., 2022] (табл. 3).

Площадь максимальных сотрясений составила 10000 км<sup>2</sup> (на территории хребтов Кунгёй-Ала-Тоо и Заилийский Алатау). С наибольшей силой землетрясение ощущалось в долине Большого Кемина в населённых пунктах Сазоновке, Уйтале, Джил-Арыке и городе Верном, где сила сотрясения достигала 8–9 баллов, при этом погибло 540 человек. В г. Верном было разрушено 776 кирпичных зданий. Произошли колоссальных размеров обвалы (в Чон-Каинды – высотой до 400 м), откалывание отдельных скал,

разрывы общей длиной 200 км, вдоль разрывов – смещения по вертикали до 8 м (Уйтал) [Абдрахматов и др., 2022].

В работе [Kulikova, Krüger, 2015] были проанализированы исторические сейсмограммы Кеминского землетрясения, аналоговые записи 23 сейсмических станций по всему миру были оцифрованы и обработаны, что позволило провести уточнение параметров землетрясения и получить новые данные об источнике. Эпицентр землетрясения был перемещён с новыми координатами  $\varphi=42.996^\circ\text{N}$  и  $\lambda=77.367^\circ\text{E}$ , глубина гипоцентра была оценена от 10 до 20 км,  $t_0=23:25:50.7$ . Магнитуда также была пересчитана:  $mB=8.1$ ,  $M_s=7.9$  и  $M_w=8.0$ . Авторы определили фокальный механизм путём сравнения амплитудных отношений наблюдаемых и синтетических сейсмограмм. Он представлял собой взброс, его параметры:  $STR=264^\circ$ ,  $DIP=52^\circ$ ,  $RAKE=98^\circ$ . Кажущаяся продолжительность реализации разрыва источника составила от ~45 до ~70 с, максимальный сдвиг произошёл через 25 с после начала разрыва. Показано, что очаг Кеминского землетрясения был сложным и состоял из нескольких субочагов.

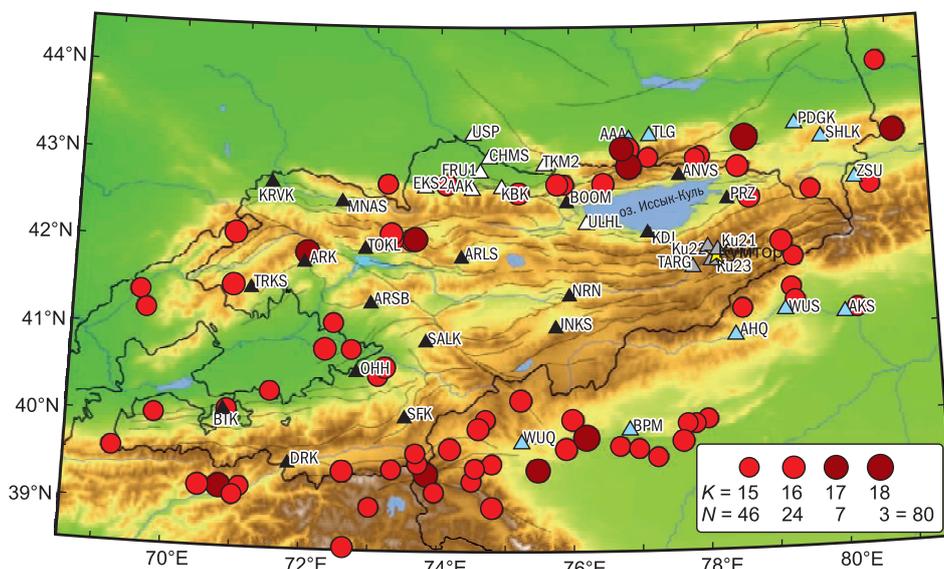


Рис. 6. Сильнейшие землетрясения ( $M_w \geq 6.5$ ) Центрального Тянь-Шаня и прилегающих территорий с исторических времён до июня 2024 г.

Таблица 3. Основные параметры Кеминского землетрясения 3 января 1911 г. по данным [Новый каталог ..., 1977]

Дата	$t_0$ , чч.мм.сс	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр			Магнитуда	$I_0$ , балл	Горизонтальная протяжённость очага $l_x$ , км
			$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E	$h$ , км			
03.01.1911	23:25:58	10	$42.9 \pm 0.2$	$76.9 \pm 1.0$	25 (13–50)	$8.2 \pm 0.3$	$(10–11) \pm 1$	200

Два из них были чётко обнаружены из волновых форм, третье также было обнаружено, но с меньшей уверенностью. Принимая во внимание информацию о поверхностном разрыве, авторы предложили модель геометрии разлома с тремя участками. На основе соотношений масштабирования авторы заключили, что общая длина разрыва составляла от ~260 до 300 км, а максимальная ширина разрыва могла достигать ~70 км (рис. 7) [Kulikova, Krüger, 2015]. Таким образом, исторические сейсмограммы играют важную роль в переосмыслении катастрофических землетрясений прошлого, позволяют уточнить кинематические и динамические параметры сейсмических событий.

Следует отметить, что в исследуемом районе в пределах высокоактивной в сейсмическом отношении Кунгей-Заилийской зоны 12 ноября 1990 г. произошло Байсорунское землетрясение с магнитудой  $MLH=6.3$ . В структурно-тектоническом плане эпицентр Байсорунского землетрясения находится в зоне сочленения Заилийского антиклинария и смежного с ним Чилико-Кеминского

синклинория [Нурмагамбетов и др., 1996]. Авторы отмечают, что, согласно сейсмическим записям на станции «Медое», разрыв в очаге сложный. По записям сильных движений также можно предположить дискретный характер излучения от сложного разрыва с субочагами [Нурмагамбетов и др., 1996]. Параметры землетрясения следующие:  $t_0=12:28:51.4$ ,  $\varphi=42^\circ 56'$ ,  $\lambda=77^\circ 56'$ ,  $h=15-20$  км,  $MLH=6.3$ ,  $MPVA=6.5$ ,  $K_p=14.6$ .

Землетрясение ощущалось на обширной территории, включающей Алма-Атинскую, Талды-Курганскую и Джамбульскую области Казахстана, а также Иссык-Кульскую область Кыргызской Республики. Плейстосейстовая зона землетрясения занимает площадь около 3400 км<sup>2</sup>. Интенсивность сотрясений 8 баллов наблюдалась в населённом пункте Кутурган, находящемся в 20 км к востоку от эпицентра. Этот факт согласуется и с данными о максимальных воздействиях по сильным движениям. В г. Алма-Ате (эпицентральное расстояние 77 км) интенсивность составила  $I=5-6$  баллов [Нурмагамбетов и др., 1996].

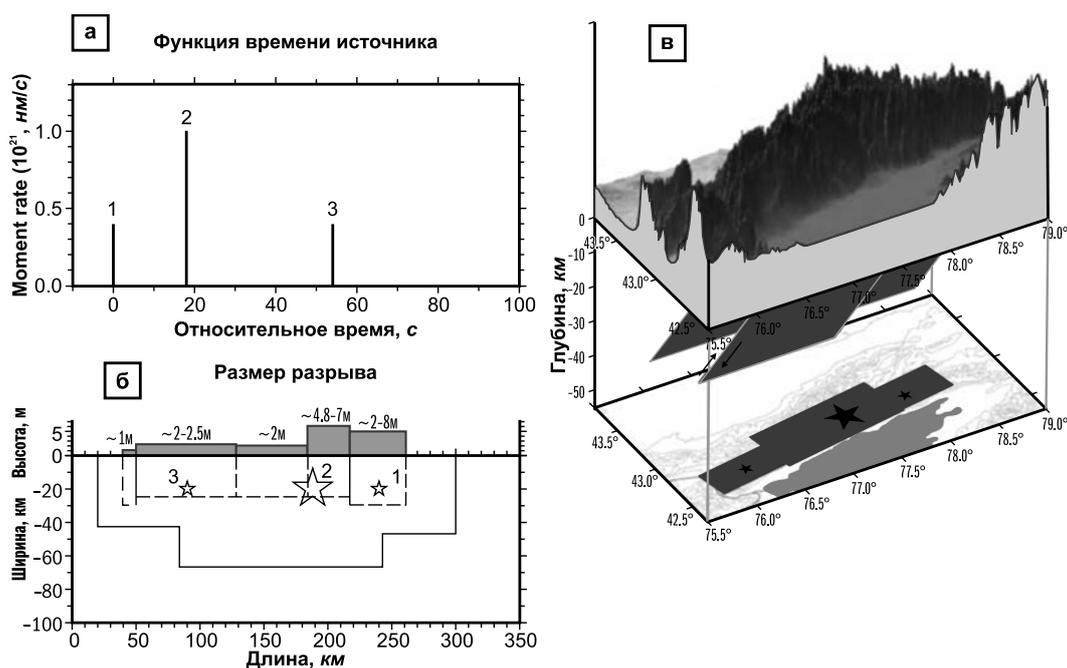


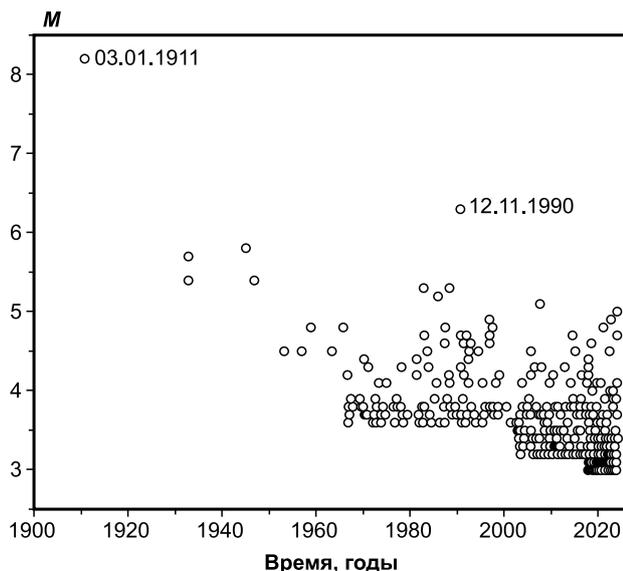
Рис. 7. Описание параметров источника для Кеминского землетрясения 1911 г.

Верхнее (а) изображение представляет собой грубое представление функции времени источника как импульса для трёх подсобытий, импульсы масштабированы к соответствующему скалярному моменту каждого подсобытия; б – предполагаемый размер разрыва и распределение подсобытий на плоскости разрыва. Звёзды показывают подсобытия, пронумерованные соответствующим образом, размер каждой звезды пропорционален энергии подсобытия. Сплошная чёрная линия показывает протяжённость разрыва, полученную из модели трёх подсобытий с использованием масштабных соотношений; в – трёхмерный вид модели источника Кеминского землетрясения: нижнее изображение – это двухмерная проекция плоскостей разломов на региональную карту с подсобытиями, отмеченными звёздочками и пронумерованными соответственно; верхнее изображение – топографическая карта региона, относительное движение плоскостей разломов показано черными стрелками, показывающими направление падения [Kulikova, Krüger, 2015]

Движения грунта при Байсорунском землетрясении были зарегистрированы сетью станций сильных движений Казахстана (21 станция) и Кыргызстана (четыре станции). Значения зарегистрированных ускорений и скорости отвечают 3–8 баллам по инструментальной шкале. Самые сильные воздействия получены на станции «Курменты» ( $\Delta=35$  км). Максимальная амплитуда по компоненте *EW* составляет  $537$  см/с<sup>2</sup> для  $T=0.20$  с, длительность больших амплитуд  $2.6$  с; максимальная амплитуда по компоненте *NS* достигла  $675$  см/с<sup>2</sup> на периоде  $0.27$  с, длительность больших амплитуд  $3$  с [Нурмагамбетов и др., 1996]. На текущий момент для территории Казахстана это самые большие инструментально зарегистрированные ускорения.

В работе [Нурмагамбетов и др., 1996] отмечено, что рассматриваемый район характеризуется высокой концентрацией палеосейсмодислокаций, «в первую очередь, сеймотектонических, отражающих вспарывание крупных разломов, в сочетании с резкой перестройкой новейшего структурно-тектонического плана, что позволяет рассматривать этот участок в качестве вероятной эпицентральной зоны катастрофического палеоземлетрясения. Байсорунское землетрясение свидетельствует о существовании длительно развивающихся (остаточных) очаговых зон».

На рис. 8 представлена зависимость магнитуд землетрясений из района эпицентральной зоны Кеминского землетрясения от времени за период с 1900 г. до 3 марта 2024 года. Следует отметить, что после Байсорунского землетрясения (более



**Рис. 8.** Зависимость магнитуд землетрясений из района эпицентральной зоны Кеминского землетрясения от времени за период с 1900 г. по 3 марта 2024 года

30 лет) в рассматриваемом районе не наблюдались землетрясения с  $MLH \geq 6.0$ . Как показал опыт предыдущих лет, сильные землетрясения из рассматриваемого района представляют большую опасность для крупнейшего мегаполиса Центральной Азии – Алматы и Алматинской агломерации. В связи с этим, исследование даже землетрясений умеренной силы, таких как Кунгейское землетрясение 2024 г., представляет большой интерес для исследователей.

### Макросейсмические данные Кунгейского землетрясения

В Алматы и его пригородах интенсивность сотрясений составила 5 баллов по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]; на северном побережье оз. Иссык-Куль в г. Чолпон-Ате, с. Бостери, с. Ананьево – 4–5 баллов; г. Балыкчы – 4 балла; г. Каджисай, г. Каракол, месторождение «Кумтор», г. Бишкек – 3–4 балла; г. Талдыкорган – 2 балла. Была составлена таблица пунктов-баллов Кунгейского землетрясения (табл. 4) на основе анкетирования станционных операторов. Больше всего пострадал Алматы, в ряде зданий образовались трещины, отмечались лёгкие повреждения зданий (рис. 9).

Эпицентральной зона Кунгейского землетрясения находилась на территории Кыргызстана вблизи границы с Казахстаном, в связи с этим макросейсмические проявления наблюдались в населённых пунктах этих стран. В последние годы в Кыргызстане и Казахстане было открыто

**Таблица 4.** Таблица пунктов-баллов Кунгейского землетрясения 4 марта 2024 г. в 06:22 UTC

Пункт	$\Delta$ , км	Координаты пункта	
		$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E
5 баллов			
г. Алматы	35	43.32	76.92
г. Каскелен	40	43.20	76.62
4–5 баллов			
г. Чолпон-Ата	33	42.649	77.082
с. Бостери	38	42.657	77.189
с. Ананьево	68	42.734	77.669
4 балла			
г. Балыкчы	75	42.460	76.187
3–4 балла			
г. Каджи-Сай	89	42.140	77.178
г. Каракол	133	42.490	78.394
рудник «Кумтор»	159	41.867	78.195
г. Бишкек	187	42.87	74.59
2 балла			
г. Талдыкорган	263	45.02	78.36



Рис. 9. Фото последствий Кунгейского землетрясения в Алматы

несколько станций сильных движений в рамках Международного проекта SNECCA (Seismic Network Expansion in the Caucasus and Central Asia) «Расширение сейсмической сети на Кавказе и в Центральной Азии», который направлен на повышение возможностей сейсмического мониторинга, реагирования на землетрясения в странах Центральной Азии и Кавказа, благодаря расширению сейсмических сетей. Кроме станций проекта SNECCA, акселерометрами оснащены станции региональной сети Кыргызстана KRNET, сети станций раннего предупреждения ACROSS, некоторые станции ИГИ НЯЦ РК (KZNET), а также станции глобальной сети мониторинга IRIS-IDA [Абдрахматов и др., 2022].

Для Кунгейского землетрясения было обработано 30 записей сильных движений в диапазоне эпицентральных расстояний от 35 до 690 км.

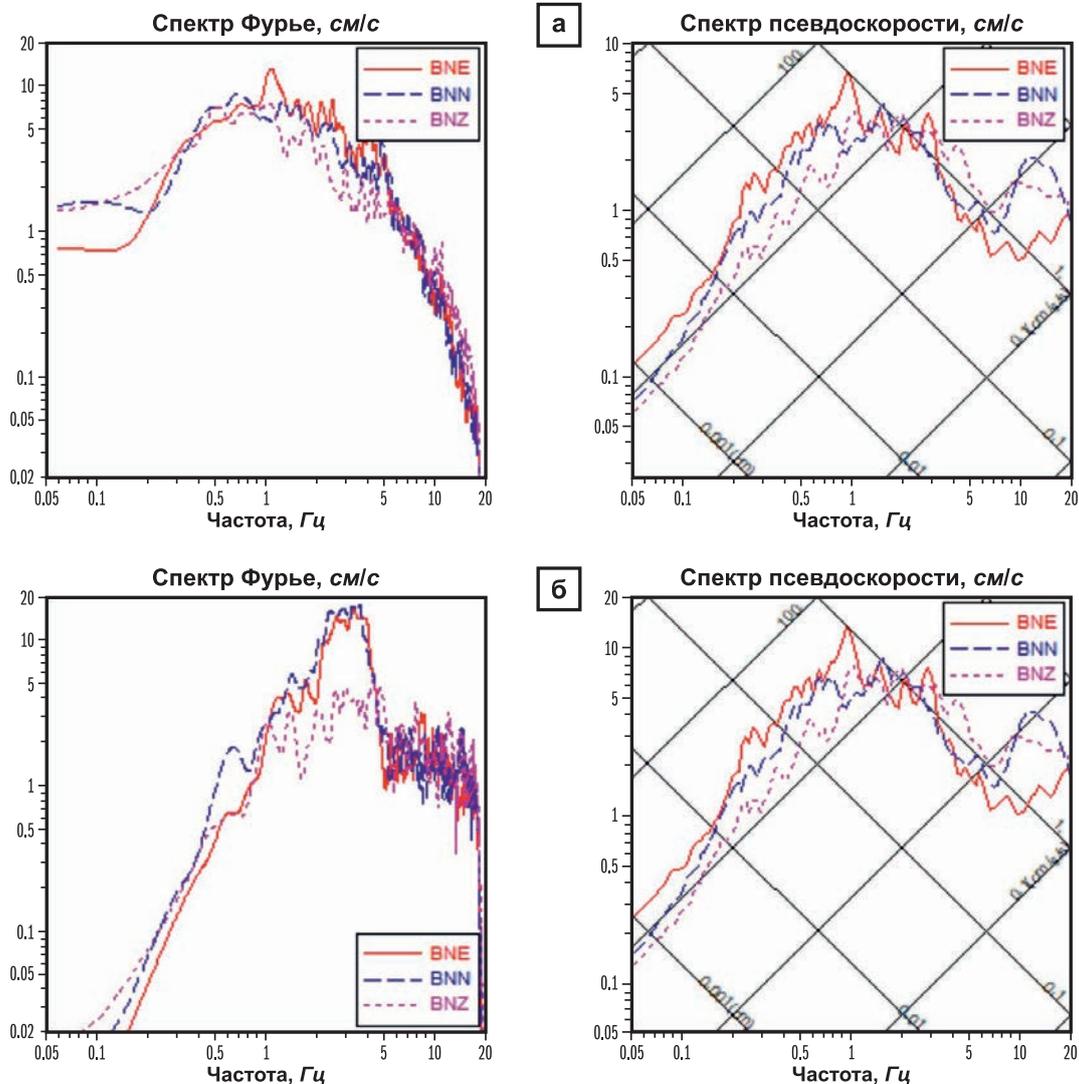
Обработка данных сильных движений осуществлялась при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [Kashima, 2012], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах, производить расчёты спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, производить дифференцирование и интегрирование записей.

Самая близкая станция, записи которой обработаны, KNDC из сети мониторинга ИГИ НЯЦ РК, расположена в Медеуском районе Алматы,  $\Delta=35$  км,  $A_{\max}=74.8$  см/с<sup>2</sup> для канала MS. На рис. 10 представлены результаты обработки данных акселерометра станции KNDC для Учтурфанского землетрясения 22 января 2024 г. [Соколова и др., 2024] и Кунгейского землетрясения. Следует

отметить, что, согласно макросейсмическим данным, полученным для Алматы, оба землетрясения, как Учтурфанское, так и Кунгейское, имели интенсивность сотрясений в городе 5 баллов. Однако по станции KNDC для Учтурфанского землетрясения было зарегистрировано максимальное ускорение  $A_{\max}(EW)=14.6 \text{ см/с}^2$ , период  $T=1 \text{ с}$ , такие значения, согласно [Соболев и др., 2000], соответствуют интенсивности 5 баллов, тогда как для Кунгейского землетрясения  $A_{\max}(NS)=74.8 \text{ см/с}^2$ , период  $T=0.4 \text{ с}$ , что соответствует интенсивности 6–7 баллов. Таким образом, Кунгейское землетрясение имело больший макросейсмический эффект, и в некоторых отдельных районах города он достигал 6 баллов.

Также сильное ускорение  $PGA$  (Peak ground acceleration) было зарегистрировано на станции «Ананьево» (ANAN)  $PGA(NS)=29.2 \text{ см/с}^2$ , эпицентрального расстояние  $\Delta=68 \text{ км}$  (рис. 11, 12, табл. 5).

Самая далёкая станция – «Ортау» (OTUK) из сети ИГИ НЯЦ РК,  $\Delta=690 \text{ км}$ ,  $A_{\max}=0.1 \text{ см/с}^2$  (рис. 11, 12, табл. 5). На рис. 11 представлена зависимость максимальных амплитуд сильных движений  $PGA$  от эпицентрального расстояния для землетрясения 4 марта 2024 г., разбивка на области балльности дана в соответствии с корреляционными отношениями между параметрами колебания грунта и макросейсмическими описаниями эффектов в пунктах размещения сейсмических станций [Соболев и др., 2000].



**Рис. 10.** Результаты обработки данных акселерометра станции KNDC: а – Учтурфанское землетрясение 22 января 2024 г.; б – Кунгейское землетрясение 4 марта 2024 г.

Расчёт проводился по программе [Kashima, 2007]

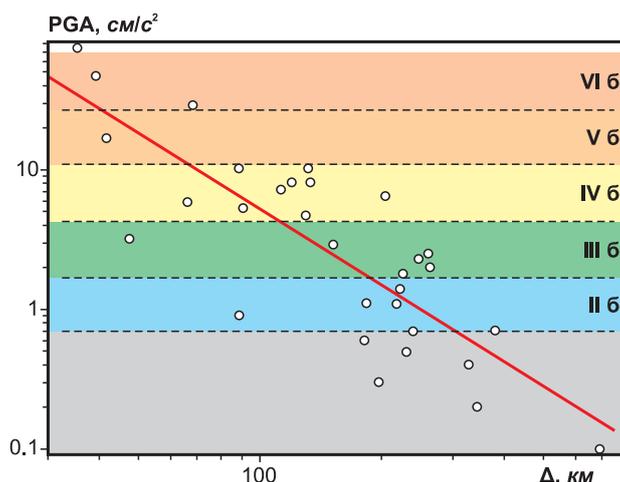


Рис. 11. Зависимость максимальных амплитуд ускорений *PGA* от эпицентрального расстояния для землетрясения 04.03.2024 г.

Разными цветами показаны корреляционные соотношения между параметрами колебания грунта и макросейсмическими описаниями эффектов в пунктах размещения сейсмических станций

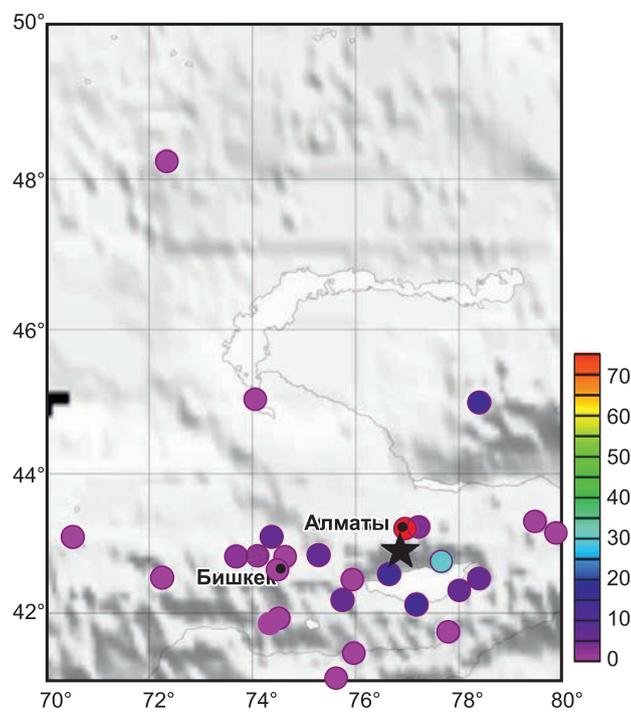


Рис. 12. Карта расположения станций сильных движений, зарегистрировавших землетрясение 4 марта 2024 г. (эпицентр – звёздочка), и пиковые ускорения *PGA* грунта на этих станциях.

Цветовая шкала соответствует максимальной амплитуде ускорений в *см/с²*

**Характеристики кольцевой структуры сейсмичности перед Кунгейским землетрясением**

В последние 20 лет установлено, что перед многими сильными неглубокими землетрясениями в литосфере формируются зоны высокого содержания флюидов [Копничев, Соколова, 2010]. Обнаружение таких зон может быть полезным в целях определения мест подготовки

сильных сейсмических событий, для этого перспективно проводить картирование поля поглощения короткопериодных поперечных волн [Копничев, Соколова, 2010]. В работе [Копничев, Соколова, 2019] по данным местных землетрясений и карьерных взрывов, зарегистрированных сейсмическими станциями TLG, MDO, KNDC, INP, KASK, установленных в районе Алматы и его окрестностях, проведено картирование

**Таблица 5.** Сведения о сейсмических станциях сильных движений Центральной Азии и значения пиковых ускорений грунта

№	Код сети	Код станции	Координаты станции		$\Delta$ , км	$A$ , см/с <sup>2</sup>			$V$ , см/с			$T(V)$ , с	$T(A)$ , с
			$\varphi$ , °N	$\lambda$ , °E		$EW$	$NS$	$Z$	$EW$	$NS$	$Z$		
1	KZ	KNDC	43.217	76.966	35	56.6	74.8	29.9	3.52	4.21	0.94	0.4	0.4
2	AD	TMCH	42.565	76.662	42	12.6	12.7	16.8	0.89	0.56	0.32	0.9	0.11
3	QZ	TLG	43.249	77.224	48	2.9	3.2	1.9	0.1	0.08	0.06	0.18	0.18
4	KR	ANVS	42.786	77.667	66	4.1	5.9	4.1	0.18	0.25	0.13	0.17	0.17
5	AD	ANAN	42.737	77.675	68	21	29.2	16.4	0.65	0.66	0.26	0.15	0.12
6	KR	BOOM	42.492	75.942	89	0.7	0.9	0.7	0.04	0.05	0.03	0.32	0.32
7	AD	KAJS	42.141	77.180	89	10.3	9.1	6.2	0.19	0.2	0.17	0.1	0.1
8	KR	KDJ	42.127	77.194	91	4.6	5.3	3.7	0.09	0.11	0.06	0.19	0.19
9	AD	KZSU	42.342	78.015	113	6.9	7.2	6.6	0.27	0.28	0.3	0.25	0.11
10	AD	KCHK	42.212	75.753	120	6.2	8.1	3.3	0.22	0.34	0.09	0.2	0.2
11	AD	TKMK	42.836	75.284	130	3.7	4.7	3.2	0.13	0.18	0.1	0.3	0.3
12	AD	KKOL	42.501	78.389	132	9.3	10.2	6.8	0.57	0.33	0.18	0.5	0.2
13	KR	PRZ	42.500	78.400	133	8.2	5.2	2.8	0.35	0.24	0.12	0.5	0.2
14	KC	TARG	41.729	77.805	152	2.5	2.9	2.6	0.11	0.1	0.11	0.3	0.3
15	KR	NRN	41.422	75.970	181	0.5	0.5	0.6	0.02	0.02	0.02	0.4	0.4
16	KR	FRU1	42.812	74.628	183	0.9	1.1	0.6	0.04	0.04	0.03	0.3	0.17
17	II	AAK	42.638	74.494	196	0.3	0.3	0.2	0.02	0.01	0.01	0.6	0.32
18	AD	JANJ	43.107	74.375	204	4.7	6.5	3.1	0.21	0.33	0.09	0.3	0.3
19	KZ	PDGK	43.328	79.485	217	1.1	1	0.7	0.07	0.06	0.04	0.5	0.19
20	AD	CHAK	41.927	74.518	222	1.4	1.2	0.8	0.09	0.08	0.06	1.0	1.0
21	AD	AKSU	42.832	74.109	225	1.8	1.2	0.6	0.08	0.08	0.03	0.27	0.27
22	KR	JNKS	41.053	75.626	230	0.4	0.5	0.4	0.02	0.02	0.01	0.22	0.22
23	KR	ARLS	41.853	74.335	239	0.4	0.7	0.3	0.03	0.06	0.02	0.4	0.4
24	QZ	SHLS	43.161	79.885	247	2.1	2.3	1.4	0.16	0.14	0.09	0.45	0.22
25	KR	KAYN	42.829	73.683	260	2.5	2.3	0.8	0.15	0.17	0.06	0.5	0.23
26	QZ	TDK	45.002	78.404	263	1.1	2	1.1	0.06	0.07	0.04	0.22	0.15
27	QZ	BTLS	45.041	74.046	328	0.3	0.4	0.3	0.02	0.02	0.02	0.5	0.2
28	QZ	TOKL	41.983	72.868	344	0.1	0.2	0.1	0.01	0.01	0.01	0.22	0.22
29	KR	TALS	42.517	72.251	380	0.7	0.5	0.4	0.04	0.03	0.1	0.5	0.5
30	KZ	OTUK	48.244	72.338	690	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.7	0.7

Примечание: в столбце «Код сети» даны коды сетей в соответствии с FDSN (International Federation of Digital Seismograph Networks): KR – сеть цифровых станций ИС НАН КР [Kyrgyz Digital Network, 2024]; AD – сеть сильных движений по проекту ACROSS, Центрально-Азиатский институт прикладных наук о Земле, Кыргызстан [ACROSS Strong ..., 2024]; QZ – сейсмическая сеть Опытно-методической экспедиции Республики Казахстан [Seismic network ..., 2024]; KZ – сеть Института геофизических исследований (KNDC), Казахстан [Kazakhstan Network ..., 2024]; II – Глобальная сейсмическая сеть IRIS/IDA [Global Seismograph Network – IRIS/IDA, 2024].

поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Северного Тянь-Шаня. Полученные данные позволили выделить наиболее опасные участки литосферы в близких окрестностях Алматы, в которых наблю-

даются самые низкие величины эффективной добротности. В первую очередь к ним относится область к юго-востоку от станции MDO, другая область находится к юго-западу от станции MDO (рис. 13).

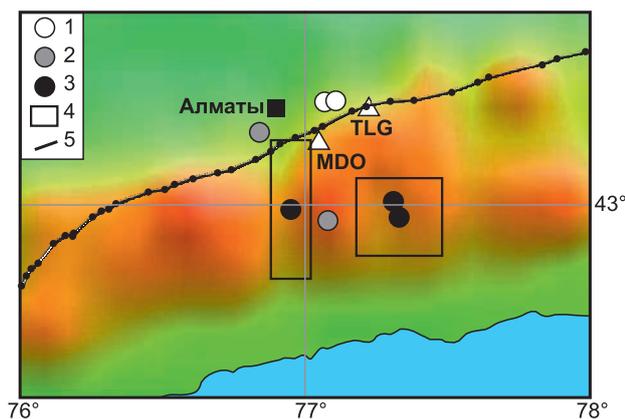


Рис. 13. Карта поля поглощения для диапазона глубин 30–50 км по данным станций MDO и TLG [Kopnichen, Sokolova, 2019]

Поглощение: 1 – пониженное, 2 – промежуточное, 3 – повышенное (значки соответствуют центрам соответствующих областей). 4 – области наиболее высокого поглощения в нижней коре. 5 – Заилийский разлом

Для уточнения параметров возможного сильного землетрясения в районе Северного Тянь-Шаня целесообразно дополнительно использовать характеристики сейсмичности. В последние годы установлено, что перед многими сильными землетрясениями в течение нескольких десятилетий формируются кольцевые структуры (кольца) сейсмичности, оконтуривающие области относительного сейсмического затишья [Kopnichen, Sokolova, 2010; Kopnichen, Sokolova, 2013]. Эти структуры образованы эпицентрами событий с магнитудами  $M > M_p$ , где  $M_p$  – пороговые значения, которые растут с увеличением энергии главных землетрясений. Для ряда сильных землетрясений с различными механизмами очагов во внутриконтинентальных районах получены корреляционные зависимости  $L(M_w)$  и  $M_p(M_w)$ , где  $L$  – длины больших осей колец сейсмичности,  $M_w$  – магнитуды соответствующих им сильных событий [Kopnichen, Sokolova, 2010]. Использование этих зависимостей позволяет прогнозировать места и энергию готовящихся сильных событий по характеристикам кольцевых структур.

Рассматривались характеристики сейсмичности начиная с 1973 г. (из каталогов NEIC Геологической службы США) [Search Earthquake Catalog, 2024]. Методика подробно описана в ряде работ, например [Kopnichen, Sokolova, 2010]. На рис. 14 представлена кольцевая структура сейсмичности в районе Северного Тянь-Шаня и Илийской впадины, сформировавшаяся перед Кунгёйским землетрясением, начиная с 1 января 1973 г. Пороговое значение магнитуды  $M_p=3.8$ .

Кольцевая структура с длиной большой оси  $L \sim 60$  км вытянута в северо-восточном направлении. Отметим, что эпицентр Кунгёйского землетрясения находится вблизи от кольца сейсмичности. Ранее не было замечено случаев, чтобы кольцевая структура сейсмичности формировалась перед сейсмическим событием умеренной энергии. Оценим прогнозную магнитуду  $M_w$  на основе эмпирических зависимостей, полученных ранее в работе [Kopnichen, Sokolova, 2010], где показано, что параметры коровых внутриконтинентальных землетрясений, перед которыми формируются кольцевые структуры, зависят от механизмов очагов.

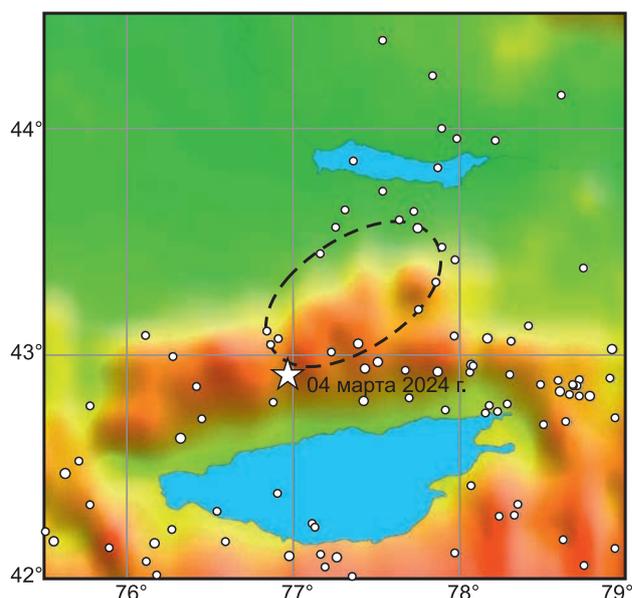


Рис. 14. Кольцевая структура,  $h \leq 33$  км, в районе Заилийского Алатау и Кунгёй-Ала-Тоо

Для механизмов типа взброса и взбрососдвига получены следующие зависимости параметров  $L$  и  $M_p$  от магнитуд главных землетрясений:

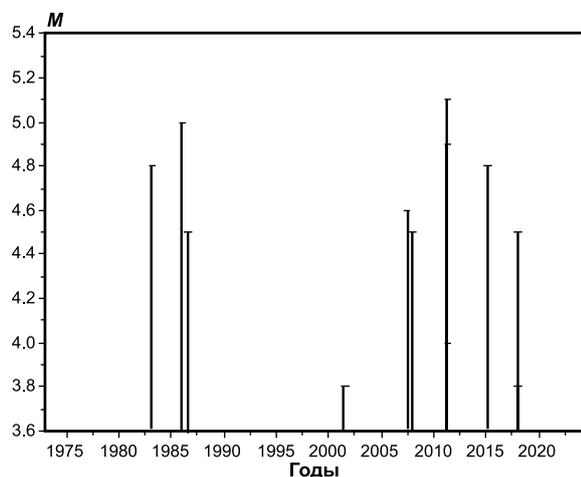
$$\lg L(\text{км}) = -1.11 + 0.45 \cdot M_w; r = 0.85, \quad (1)$$

$$M_p = -0.92 + 0.73 \cdot M_w; r = 0.77, \quad (2)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

Используя зависимости (1) и (2), мы получили прогнозную оценку магнитуды, основанную на характеристиках кольцевой структуры, сформированной в районе Северного Тянь-Шаня:  $M_w = 6.4 \pm 0.05$ . На рис. 15 показана зависимость  $M(T)$  для событий в области кольцевой структуры. Видно, что эта зависимость имеет U-образную форму с резким увеличением энергии событий в интервалах 1983–1986 и 2007–2019 гг. Отметим, что подобные зависимости наблюдаются перед многими сильными

землетрясениями. Учитывая этот факт, можно заключить, что есть вероятность подготовки в ближайшие годы в исследуемом районе более сильного землетрясения с  $M_w \sim 6.4$ , сопоставимого по энергии с Байсорунским землетрясением. В связи с этим необходимо проводить постоянный мониторинг предвестников в районе Северного Тянь-Шаня.



**Рис. 15.** Зависимость  $M$  от времени для мелкой кольцевой структуры в районе Заилийского Алатау и Кюнгей-Ала-Тоо

### Заключение

Кунгейское землетрясение 4 марта 2024 г. произошло на территории Кыргызстана, в районе хребта Кюнгей-Ала-Тоо. На северном побережье оз. Иссык-Куль, а также в Алматы и его пригородах интенсивность Кунгейского землетрясения 4 марта 2024 г. составила 5 баллов. Анализ записей приборов сильных движений станций Центральной Азии показал, что полученные значения для Алматы  $A_{\max}(NS) = 74.8 \text{ см/с}^2$  при периоде  $T = 0.4 \text{ с}$ , что соответствует более высокой, чем 5 баллов, интенсивности, оцениваемой в 6–7 баллов, и подтверждается сведениями об ошутимости из отдельных районов города.

Землетрясение произошло под действием близмеридионального сжатия, что типично для очагов Северного Тянь-Шаня. Тип движения в очаге — взброс с незначительными сдвиговыми компонентами.

Перед Кунгейским землетрясением 4 марта 2024 г. пространственное распределение сейсмичности начиная с 1973 г. в районе Заилийского Алатау и Кюнгей-Ала-Тоо показало, что образовалась кольцевая структура, сформированная землетрясениями с глубинами до 33 км, что может свидетельствовать о подготовке более сильного землетрясения с  $M \sim 6$ .

**Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и при поддержке проекта МНТЦ KR2452 (SNECCA).**

**Благодарности.** Сейсмические данные были загружены через веб-службы IRIS, включая следующие сейсмические сети (<http://ds.iris.edu/mda>): (1) AD (ACROSS Strong Motion Network in Central Asia GFZ); (2) KR (Kyrgyz Digital Network, Kyrgyz Institute of Seismology); (3) QZ Seismic network of the Seismological Experience and Methodology Expedition CS MES RK; (4) KZ Kazakhstan Network (Institute of Geophysical Research, NNC RK); (5) II Global Seismograph Network — IRIS/IDA (Scripps Institution of Oceanography).

### Литература

- Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Уокер Р., Фролова А.Г., Грюцнер К., Гребенникова В.В., Першина Е.В., Соколова И.П., Молдобекова С. Землетрясения Кыргызстана. — Бишкек: Издательство научных журналов и детской художественной литературы, 2022. — 205 с.
- Богданович К.И. Землетрясение 22 декабря 1910 г. (4 января 1911 г.) в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-Кулем // Известия Геологического комитета. — 1911. — Т. 30, № 189.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов // Геофизические исследования. — 2013. — Т. 14, № 1. — С. 5–15. — EDN: RAGHLD
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Картирование поля поглощения  $S$ -волн по коде записей местных землетрясений и карьерных взрывов в районе Северного Тянь-Шаня // Геофизические процессы и биосфера. — 2019. — Т. 18, № 4. — С. 241–252. — DOI: 10.21455/GPB2019.4-20. — EDN: RMOIUJ
- Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. — М.: МГК АН СССР, 1965. — 11 с.
- Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция  $\delta(\Delta)$  для определения  $MPVA$  землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. — Алма-Ата: Наука, 1986. — С. 41–47.
- Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана // Вестник НЯЦ РК. — 2005. — Вып. 2 (22). — С. 142–146.
- Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. 100 лет Кеминской катастрофы: новые данные об очаге // Вестник НЯЦ РК. — 2014. — Вып. 1. — С. 104–111.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. — М.: Наука, 1977. — 536 с.

- Нурмагамбетов А. Кеминское землетрясение 4 января 1911 г. (23 декабря 1910 г.) // Сейсмическая история Алматы. – Алматы: Издательство «ЛЕМ», 1999. – 68 с.
- Нурмагамбетов А., Михайлова Н.Н., Сыдыков А., Ганич В.А., Власова А.А., Сабитов М.М., Хайдаров М.С. Байсорунское землетрясение 12 ноября 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: Наука, 1996. – С. 46–52.
- Пржиялговский Е.С., Рыбин А.К., Морозов Ю.А., Лаврушина Е.В., Леонов М.Г., Баталева Е.А. Геолого-геофизический трансект Срединного Тянь-Шаня через Нарынскую и Атбашинскую впадины // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 1–20. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-1-0568. – EDN: BWRWFM
- Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
- Сабитова Т.М. и др. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / Под ред. А.Б. Бакирова. – Бишкек: Илим, 2006. – 114 с.
- Соболев Г.А., Аносов Г.И., Антикаев Ф.Ф., Арефьев С.С., Бесстраинов В.М. и др. Природные опасности России. В 6 томах. Т. 2. Сейсмические опасности / Под ред. Г.А. Соболева. – М.: Издательская фирма «КРЭК», 2000. – 296 с. – EDN: VDJOMZ
- Соколова И.Н., Габсатарова И.П., Берёзина А.В., Аристова И.Л. Сильное землетрясение 22 января 2024 г. с Mw=7.0 на юге Тянь-Шаня // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 1. – С. 42–64. – DOI: 10.35540/2686-7907.2024.1.03. – EDN: KHSGBI
- ACROSS Strong Motion Network in Central Asia // GFZ Data Services. Other/Seismic Network [Site]. – DOI: 10.14470/NQ293785 (дата обращения 05.03.2024).
- Global CMT Catalog Search // Global CMT Web Page [Site]. – Columbia, SC, USA: Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) of Columbia University, 2024. – URL: <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> (дата обращения 05.03.2024).
- Global Seismograph Network – IRIS/IDA // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/II (дата обращения 05.03.2024).
- Kashima T. ViewWave // IISEE [Site]. – URL: <https://iisee.kenken.go.jp/staff/kashima/viewwave.html> (Updated on Feb. 23, 2007).
- Kazakhstan Network // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/KZ (дата обращения 05.03.2024).
- Kopnischev Y.F., Sokolova I.N. On the correlation between seismicity characteristics and S-wave attenuation in the ring structures that appear before large earthquakes // Journal of Volcanology and Seismology. – 2010. – V. 4, N 6. – P. 396–411. – DOI: 10.1134/S0742046310060047. – EDN: OHMPQF
- Kulikova G., Krüger F. Source process of the 1911 M8.0 Chon-Kemin earthquake: Investigation results by analogue seismic records // Geophysical Journal International. – 2015. – V. 201, N 3. – P. 1891–1911. – DOI: 10.1093/gji/ggv091. – EDN: USXTNB
- Kyrgyz Digital Network // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/KR (дата обращения 05.03.2024).
- Lahr J.C. HYPOELLIPSE: A computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern. Open-File Report 99-23. – Reston, Virginia: US Geological Survey, 1999. Revised: 2012. – 119 p. – URL: [https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/HYPOELLIPSE\\_Full\\_Manual.pdf](https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/HYPOELLIPSE_Full_Manual.pdf)
- Quinlan D. A tutorial for Datascope: The ASIS relational database system. – Boulder, Colorado, USA: Boulder Real Time Technologies, 1998.
- Search Earthquake Bulletin // ISC [Site]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (дата обращения 05.03.2024).
- Search Earthquake Catalog. Earthquakes // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения 05.03.2024).
- Seismic network of the Seismological Experience and Methodology Expedition CS MES RK // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/QZ (дата обращения 05.03.2024).

### Сведения об авторах

**Соколова Инна Николаевна**, доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: sokolovain@gstras.ru

**Берёзина Анна Викторовна**, зав. Центром обработки данных Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызстан. E-mail: annaberezina8@gmail.com

**Першина Елена Владимировна**, гл. геофизик Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызстан. E-mail: rev\_71@mail.ru

**Габсатарова Ирина Петровна**, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: ira@gstras.ru

**Аристова Ирина Львовна**, ст. науч. сотр. филиала «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИГИ НЯЦ РК), г. Курчатов, Казахстан. E-mail: i.aristova@kndc.kz

## Felt earthquake on March 4, 2024, Mw=5.0, in the Kyungey–Ala–Too ridge

© 2024 I.N. Sokolova<sup>1</sup>, A.V. Berezina<sup>2</sup>, E.V. Pershina<sup>2</sup>, I.P. Gabsatarova<sup>1</sup>, I.L. Aristova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>GS RAS, Obninsk, Russia; <sup>2</sup>IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan; <sup>3</sup>IGR NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Received November 15, 2024

**Abstract** The paper presents the results of the analysis of instrumental and macroseismic data of the strong Kungey earthquake on March 4, 2024, on the border of Kyrgyzstan and Kazakhstan in the Kemin–Chilik fault area. The hypocenter of the earthquake is confined to the focal zone of the catastrophic Kemin earthquake of 1911 with Mw=8.2. The earthquake of March 4, 2024 occurred under the action of submeridional near-horizontal compression, which is typical for the sources of the Northern Tien Shan. The type of motion in the source along the steeply dipping plane NP1 of southwestern strike is a reverse type of motion with a left-sided strike-slip component, along the plane of an eastern strike is a thrust with a right-sided strike-slip component. Before the Kungey earthquake, a ring-shaped seismicity structures formed by earthquakes with depths of up to 33 km, which is a prediction's factor for strong crustal earthquakes. The earthquake was felt in Almaty (Kazakhstan) and its suburbs with an intensity of 5 points on the MSK-64 scale and had the most significant impact on the megapolis after the Baysorun earthquake of 1990. Data on the macroseismic impact of the Kungey earthquake in Kazakhstan and Kyrgyzstan were collected. An analysis of the records of strong motion instruments based on data from Central Asian stations was carried out.

**Keywords** Strong earthquake, Northern Tien Shan, focal mechanism, strong motions, intensity.

**For citation** Sokolova, I.N., Berezina, A.V., Pershina, E.V., Gabsatarova, I.P., & Aristova, I.L. (2024). [Felt earthquake on March 4, 2024, Mw=5.0, in the Kyungey–Ala–Too ridge]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(4), 7–23 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.4.01>. EDN: PBMTUW

### References

- Abdrakhmatov, K.E., Berezina, A.V., Walker, R., Frolova, A.G., Gryutsner, K., Grebennikova, V.V., Pershina, E.V., Sokolova, N.P., & Moldobekova, S. (2022). *Zemletriaseniia Kyrgyzstana* [Earthquakes of Kyrgyzstan]. Bishkek, Kyrgyzstan: Publ. House of Scientific Journals and Children's Fiction, 205 p. (In Russ.).
- Bogdanovich, K.I. (1911). [Earthquake on December 22, 1910 (January 4, 1911) in the northern Tien Shan chains between Verniy and Issyk-Kul]. *Izvestiia Geologicheskogo komiteta* [News of the Geological Committee], 30(189). (In Russ.).
- GFZ Data Services. Other/Seismic Network. (2024). *ACROSS Strong Motion Network in Central Asia*. DOI: 10.14470/NQ293785
- Global CMT Web Page. (2024). *Global CMT Catalog Search*. Columbia, SC, USA: Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) of Columbia University. Retrieved from <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- International Federation of Digital Seismograph Networks. (2024). *Kyrgyz Digital Network*. – DOI: 10.7914/SN/KR
- International Federation of Digital Seismograph Networks. (2024). *Global Seismograph Network – IRIS/IDA*. – DOI: 10.7914/SN/II
- International Federation of Digital Seismograph Networks. (2024). *Kazakhstan Network*. DOI: 10.7914/SN/KZ
- ISC. (2024). *Search Earthquake Bulletin*. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
- Kashima, T. (2007). *ViewWave*. IISEE. Retrieved from <https://iisee.kenken.go.jp/staff/kashima/viewwave.html>
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (Eds.). (1977). *Novyj katalog sil'nykh zemletryasenij na territorii SSSR s drevnejshih vremyon do 1975 g.* [New catalogue of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
- Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2010). On the correlation between seismicity characteristics and S-wave attenuation in the ring structures that appear before large earthquakes. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4(6), 396–411. DOI: 10.1134/S0742046310060047. EDN: OHMPQF
- Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2013). [Ring-shaped seismicity structures, being formed prior to large earthquakes with different mechanisms within intracontinental regions]. *Geofizicheskie issledovaniia* [Geophysical Research], 14(1), 5–15. (In Russ.). EDN: RAGHLD
- Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2019). Mapping S-wave attenuation field of the North Tien Shan region using seismogram coda for local earthquakes and quarry

- blasts. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 55(11), 1803-1813. DOI: 10.1134/S0001433819110215. EDN: MGVBTW
- Kulikova, G., & Krüger, F. (2015). Source process of the 1911 M8.0 Chon-Kemin earthquake: Investigation results by analogue seismic records. *Geophysical Journal International*, 201(3), 1891-1911. DOI: 10.1093/gji/ggv091. EDN: USXTNB
- Lahr, J.C. (1999). *HYPOELLIPSE: A computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern*. Open-File Report 99-23. Reston, Virginia: US Geological Survey. Revised: 2012, 119 p. Available at: [https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/HYPOELLIPSE\\_Full\\_Manual.pdf](https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/HYPOELLIPSE_Full_Manual.pdf)
- LTD Seismological Experience and Methodology Expedition of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. (2003). *Seismic network of the Seismological Experience and Methodology Expedition CS MES RK* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/SN/QZ
- Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Karnik, V. (1965). *Shkala seismicheskoi intensivnosti MSK-64* [Seismic Intensity Scale MSK-64]. Moscow, Russia: Interdepartmental Geophysical Commission of the USSR Acad. Sci. Publ., 11 p. (In Russ.).
- Mikhailova, N.N., & Neverova, N.P. (1986). [Calibration function  $d()$  for determining the MPVA of earthquakes in the Northern Tien Shan]. In *Kompleksnye issledovaniia na Alma-Atinskoi prognosticheskoi poligone* [Complex studies at the Alma-Ata prognostic polygon] (pp. 41-47). Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka publ. (In Russ.).
- Mikhailova, N.N., & Poleshko, N.N. (2005). [On the focal mechanisms of earthquake in East Kazakhstan]. *Vestnik NIATs RK* [NNC RK Bulletin], 2(22), 142-146. (In Russ.).
- Mukambaev, A.S., & Mikhailova, N.N. (2014). [100 years of the Kemin disaster: new data on the earthquake source]. *Vestnik NIATs RK* [NNC RK Bulletin], 1, 104-111. (In Russ.).
- Nurmagambetov, A. (1999). [Kemin earthquake on January 4, 1911 (December 23, 1910)]. In *Seismicheskaia istoriia Almaty* [Seismic history of Almaty]. Almaty: LEM Publ. House, 68 p. (In Russ.).
- Nurmagambetov, A., Mikhailova, N.N., Sydykov, A., Gapich, V.A., Vlasova, A.A., Sabitov, M.M., & Khaidarov, M.S. (1996). [Baysorun earthquake on November 12, 1990]. In *Zemletriaseniia v SSSR v 1990 godu* [Earthquakes in the USSR in 1990] (pp. 46-52). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Przhiyalgovskii, E.S., Rybin, A.K., Morozov, Yu.A., Lavrushina, E.V., Leonov, M.G., & Bataleva, E.A. (2022). [Geological and geophysical transect of the Middle Tien Shan across the Naryn and Atbashi depressions]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics & Tectonophysics], 13(1), 0568. (In Russ.). DOI: 10.5800/GT-2022-13-1-0568. EDN: BWRWFM
- Quinlan, D. (1998). *A tutorial for Datascope: The ASIS relational database system*. Boulder, Colorado, USA: Boulder Real Time Technologies.
- Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspperimental'naia seismika. Trudy IFZ ANSSSR N 32(199)* [Experimental seismic. Proceedings of the IPE AS USSR N 32(199)] (pp. 88-93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Sabitova, T.M. et al. (2006). *Zemnaia kora i verkhniaia mantiia Tian'-Shania v sviazi s geodinamikoi i seismichnost'iu*. Pod red. A.B. Bakirova [The Earth's crust and the upper mantle of the Tien Shan in connection with geodynamics and seismicity. Ed. A.B. Bakirov]. Bishkek, Kyrgyzstan: Ilim Publ., 114 p. (In Russ.).
- Sobolev, G.A., Anosov, G.I., Aptikaev, F.F., Arefyev, S.S., Fearless, V.M., et al. (2000). *Prirodnye opasnosti Rossii. V 6 tomakh. T. 2. Seismicheskie opasnosti*. Red. G.A. Sobolev [Natural hazards of Russia. In 6 vol. Vol. 2. Seismic hazards. Ed. G.A. Sobolev]. Moscow, Russia: KRUK Publishing Company, 296 p. (In Russ.). EDN: VDJOZM
- Sokolova, I.N., Gabsatarova, I.P., Beryozina, A.V., & Aristova, I.L. (2024). [Large earthquake on January 22, 2024 with Mw=7.0 in the south of Tien Shan]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(1), 42-64. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2024.1.03. EDN: KHSGBI
- USGS. (2024). *Search Earthquake Catalog. Earthquakes*. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

### Information about authors

**Sokolova Inna Nikolayevna**, Dr., Chief Researcher, Head of the Laboratory of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: sokolovain@gsras.ru

**Beryozina Anna Viktorovna**, Head of the National Data Center of the Institute of Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyzstan. E-mail: annaberezina8@gmail.com

**Pershina Elena Vladimirovna**, Chief geophysicist, Institute of Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyzstan. E-mail: pev\_71@mail.ru.

**Gabsatarova Irina Petrovna**, PhD, Leading Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: ira@gsras.ru

**Aristova Irina L'vovna**, Senior Researcher of the Branch "Institute of Geophysical Research" of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (IGR NNC RK), Kurchatov, Kazakhstan. E-mail: i.aristova@kndc.kz