УДК 550.343.9:551.24:551.240

## Абдрахматов К.Е., Фролова А.Г., Багманова Н.Х, Берёзина А.В., Першина Е.В., Молдобекова С. Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

### АКЕТАОСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 25 НОЯБРЯ 2016 Г. (КНР) с *Кр*=15.4 И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО КЫРГЫЗСТАНА

Аннотация. Представлена информация о землетрясении с М=6.3, произошедшем 26 июня 2016 г. на территории Китая вблизи границы с Кыргызстаном. Оценены основные параметры очага землетрясения. Приведено распределение афтершоков в пространстве и во времени. Описано макросейсмическое проявление землетрясения. Показано положение очага на разломно-тектонической схеме района и в контексте исторической сейсмичности.

Ключевые слова: землетрясение, механизм очага, афтершоки, макросейсмическое проявление, геологические условия, сейсмичность.

## 2016-Ж. 25-НОЯБРЫНДАГЫ (КЭР) Кр=15.4 МЕНЕН БОЛГОН АКЕТАО ЖЕР ТИТИРӨӨСҮ ЖАНА АНЫН ТҮШТҮК КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДАГЫ КӨРҮНҮШҮ

Кыскача мазмуну. 2016-ж. 26-июнунда Кыргызстандын чек арасына жакын Кытайдын аймагында болуп өткөн М=6.3 менен болгон жер титирөө тууралуу маалымат берилет. Жер титирөөнүн очогунун негизги параметрлерине баа берилген. Мейкиндиктеги жана мезгилдеги афтершоктордун бөлүштүрүлүшү келтирилген. Жер титирөөнүн макросейсмикалык сүрөттөлгөн. Райондун жараңка-тектоникалык көрүнүшү схемасындагы тарыхый сейсмикалуулук контекстиндеги очоктун абалы жана көрсөтүлгөн.

**Негизги сөздөр:** жер титирөө, очок механизми, афтершоктор, макросейсмикалык көрүнүш, геологиялык шарттар, сейсмикалуулук.

#### AKETAOSK EARTHQUAKE OF NOVEMBER, 25, 2016 (CHINA) WITH $K_R = 15.4$ AND ITS EFFECT ON THE TERRITORY OF SOUTHERN KYRGYZSTAN

**Abstract.** Information about the earthquake with M = 6.3 that occurred on June 26, 2016 in the territory of China near the border with Kyrgyzstan is presented. The main parameters of the earthquake source are estimated. The distribution of aftershocks in space and time is given. The macroseismic effect of the earthquake is described. The position of the source is shown on the fault-tectonic scheme of the area and in the context of historical seismicity.

Keywords: earthquake, focal mechanism, aftershocks, macroseismic effect, geological conditions, seismicity.

25 ноября 2016 года в 20<sup> h</sup> 24 <sup>m</sup> (в  $14^{h}24^{m}$  по Гринвичу) вблизи южной границы Кыргызстана произошло землетрясение с M = 6.3. Эпицентр его находился на территории соседнего Китая, в уезде Акто (Акетао) Кызылсу-Кыргызского автономного округа СУАР. Разрушительное для Китая, землетрясение вызвало панику и среди жителей приграничных населённых пунктов нашей страны. Эпицентр этого сейсмического события находился вблизи эпицентра Маркансуйского землетрясения 11 августа 1974 г. с M = 7.3. Акетаоскому землетрясению предшествовали три форшока, самый сильный из которых с Кр=12.9 произошёл за 5 минут до главного толчка.

Основные параметры Акетаоского землетрясения по материалам различных мировых агентств представлены в таблице 1.

Таблица	1.	Основные	параметры	землетрясения	25	ноября	2016	г.	по	данным	разных
агентств.											

	4	S.4	Гипоцентр				Магнитуда,	Источ-
Агентство	$l_0,$	$0l_0,$	(0 <sup>0</sup> N	20 E	<i>h</i> ,	$\delta h$ ,	энергетический класс,	ник
	ч мин с	С	φ <sup>2</sup> , N	Λ,E	КМ	КМ	сейсмический момент	
KRNET	14 24 27.57	0.1	39.16	73.95			Kp=15.4, MPVA=6.8	[1]
(ИС НАН								
KP)								
BJI	14 24 30.2	0	39.2	74.1	10		mb=5.8, Ms=6.8,	[2]
							ML=6.4/6	
SOME	14 24 31.7		39.25	74.27	5		MS=6.8	[2]
(СОМЭ								
PK)								
NNC	14 24 31.56	1.61	39.28	73.92			MPVA=6.5, mb=6.8	[2]
(КНЦД РК)								
MOS (FC	14 24 27.8	1.14	39.01	73.97	14		mb=6.5, MS=6.6	[3]
PAH)								
ISC	14 24 30.37		39.20	74.07	12.4	1.28	mb=6.4, MS=6.7	[2]
(Англия)								
NEIC	14 24 29.8		39.27	74.01	17		$M_{s-20}=6.7, mb=6.4,$	[2]
(США)							Mwb=6.5, Mo= $7.53 \times 10^{18}$	
							Н∙м	
GCMT	14 24 37.7	0	39.27	74.14	19.1	0.3	Mw=6.6, Mo=1.135*10 <sup>19</sup>	[2]
							Н∙м	
IDC	14 24 27.85	0.32	39.18	73.99			MS=6.4, mb=5.4	[2]
(CTBTO)								

Разброс решений по широте равен 0.27° ( $\phi = 39.01^{\circ} - 39.28^{\circ}$ N), по долготе - 0.35° ( $\lambda = 73.92^{\circ} - 74.27^{\circ}$ ), по глубине - 14.1 км (19.1–5.0 км), по магнитудам более устойчива магнитуда *MS* по поверхностным волнам, в среднем равная 6.6.

Инструментальные данные. При определении параметров основного толчка использовались данные 23 сейсмических станций, из них: 16 - Кыргызстана, 1 - Узбекистана, 1 – Казахстана и 5 – Китая (рисунок1).



Вестник Института сейсмологии НАН КР

Рисунок 1. Сейсмические станции, участвующие в определении эпицентра главного толчка.

Ближайшая к эпицентру сейсмическая станция «Ош» сети ИС НАН КР находилась от него на расстоянии 165 км. На рисунке 2 представлены результаты обработки велосиграммы на станции «Ош» с использованием программы View Wave (автор Т. Кашима [4]).



Рисунок 2. Результаты обработки велосиграммы главного толчка Акетаоского землетрясения 25 ноября 2016 г. с М=6.3 по записям станции «Ош»: а – записи скоростей; б – записи ускорений колебаний грунта; в – спектры реакции при 5% -м затухании осцилляторов.

Максимальные значения скоростей колебаний грунта на расстоянии 165 км составили 0.99 см/с. Судя по записи (рисунок 2а), амплитуды немного срезаны. Соответствующие этим значениям скоростей пиковые ускорения по записям на станции «Ош» достигли значения 18.4 см/с<sup>2</sup>. В принципе, они вписываются в диапазон ожидаемых значений ускорений при данных магнитуде и эпицентральном расстоянии [5]. Максимальные ускорения спектров реакции достигли значения 32 см/с<sup>2</sup>. Диапазон периодов  $\Delta$ T, при которых отмечены максимальные ускорения, составил  $\Delta$ T=0.12–0.21с. По скоростям колебаний максимум спектра реакции относится к периодам 1.2–2.2 с. Максимальные воздействия по смещениям достаточно низкочастотны: преобладающие периоды составляют порядка 7 с.

**Форшок.** Акетаоскому землетрясению предшествовал форшок с Кр=12.9, который произошёл в 14<sup>h</sup>19<sup>m</sup> по Гринвичу, т.е. за пять минут до основного толчка. Результаты обработки велосиграммы форшока на ближайшей к эпицентру станции «Ош» с использованием программы View Wave [4] приведены на рисунке 3.



Рисунок 3. Результаты обработки велосиграммы форшока Акетаоского землетрясения 25 ноября 2016 г. с K=12.9 по записям станции «Ош»: а – записи скоростей; б – записи ускорений колебаний грунта; в – спектры реакции при 5% -м затухании осцилляторов.

Максимальные значения скоростей колебаний грунта от форшока на станции «Ош» (R=170 км) наблюдались так же, как и для главного толчка, на компоненте С-Ю и составили 0.17 см/сек. После дифференцирования скоростей получены записи ускорений колебаний грунта. Пиковые ускорения достигли значения 1.9 см/с<sup>2</sup>. Максимальные ускорения спектров реакции наблюдались на компоненте N-S и составили 7 см/с<sup>2</sup>, преобладающие периоды – T = 0.18 - 0.25 с.

Афтершоки. В региональный каталог Кыргызстана за период с 25 ноября по 31 декабря 2016 г. вошло 657 афтершоков Акетаоского землетрясения в диапазоне энергетических классов K<sub>P</sub>=5.4–12.8 [1]. Первый самый сильный афтершок с K<sub>P</sub>=12.8 зарегистрирован через пять с половиной минут после основного толчка. За ним последовал буквально шквал толчков: в течение 10 минут произошло 8 землетрясений с

энергетическими классами от Kp =12.6 до Kp=11.0. Далее интенсивность толчков постепенно уменьшалась с чередующимися всплесками на уровне Kp=10.0 – 11.0. Всего же за первые сутки произошло 182 афтершока, выделенная энергия которых составила 1.47\*10<sup>13</sup> Дж. За вторые сутки было зарегистрировано 139 толчков с суммарной энергией 1.51\*10<sup>12</sup> Дж (рисунок 4).



Рисунок 4. Количество афтершоков N (1) и выделенная суммарная сейсмическая энергия (2).

По нашим данным большая часть афтершок распространялась к северу-западу и к востоку от основного толчка (рисунок 5).



Рисунок 5. Область распространения афтершоков.

**Механизм очага** Акетаоского землетрясения 25 ноября 2016 года определён агентствами: IPGP [2], NEIC [2], GCMT [2], CENC [6], его параметры и стереограммы приведены в таблице 2 и на рисунке 6. Тип подвижки в очаге этого землетрясения по всем

решениям соответствует сдвигу. По данным всех агентств ориентация нодальных плоскостей и осей главных напряжений близки. Обе плоскости залегают вертикально (DP=78-87°). Плоскость NP1 расположена близмеридионально (STK=16° -19° и 199°), плоскость NP2–близширотно (STK=108-113°). Значения угла погружения оси растяжения близгоризонтальны (PL<sub>T</sub> = 5°-19°) с азимутальной направленностью AZM<sub>T</sub> = 63°-70°. Значения угла погружения оси сжатия близгоризонтальны (PL<sub>P</sub> =0° - 12° и 34°), с азимутальной направленностью в северо-западном направлении (AZM<sub>T</sub> = 327°- 334°).

Таблица 2. Параметры механизма очага Акетаоского землетрясения 25 ноября 2016 г. в  $14^{h}24^{m}$  с энергетическим классом  $K_{P}$ =15.4.

Оси главных напряжений							Нодальные плоскости						
Т		-	Р	N		NP1				Центр			
P1	Azm	P1	Azm	P1	Azm	Stk	Dp	Slip	Stk	Dp	Slip		
12	63	5	333	78	238	199	84	11	108	79	174	IPGP	
5	244	0	334	85	65	19	86	4	289	86	176	NEIC	
6	65	11	334	78	185	19	87	-12	110	78	-177	GCMT	
19	70	34	327	53	183	16	80	-36	113	54	-168	CENC	



Рисунок 6. Стереограммы механизма очага Акетаоского землетрясения 25 ноября 2016 г. с K<sub>P</sub>=15.4, M=6.3 по данным разных агентств в проекции нижней полусферы: 1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Геологическая обстановка. Очаговая зона Акетаоского землетрясения 2016 года расположена в пределах северо-восточной части Северного Памира, который на протяжении всего мезозоя-палеогена являлся эпигерцинской платформой [7]. Согласно схеме районирования по данным новейшей тектоники этот район входит в область устойчивых тектонических поднятий. С севера указанная область ограничена зоной Вахшского краевого разлома, который здесь называется Главным Памирским фронтальным разломом.

Северный Памир сложен допалеозойскими и, главным образом, палеозойскими осадочными, изверженными и метаморфическими породами, претерпевшими герцинские движения. Основные герцинские складки – Сауксайская, Курговатская и Балянкиинская антиклинали и Каракульская синклиналь. Все они вытянуты дугообразно и обращены выпуклостью к северу. Широко развитые в этой зоне региональные разрывы, в основном взбросо-надвигового типа, характеризуются субширотным простиранием (рисунок 7).

Очаговая зона Акетаоского землетрясения 2016 года приурочена к сочленению разломов, имеющих как разное простирание, так и отличающихся по кинематическому типу. Здесь пересекаются разломы взбросо-надвигового типа (Дарваз-Каракульский и многочисленные второстепенные разломы) и зоны, в которых главенствующим типом

являются сбросы (Конгурский сброс), оттого в иностранной литературе их часто называют рифтовыми зонами (например, Karakul rift – китайская версия).



Рисунок 7. Структурное положение очаговой зоны Акетаоского землетрясения 2016 года. Показаны основные краевые разломы: 1 - Главный Памирский фронтальный (Предзаалайский) разлом, 2 - Дарваз-Каракульский разлом, 3 - зона Конгурской зоны сбросов, 4 – Каракульская зона активных разломов.

Макросейсмические проявления. Землетрясение произошло в малонаселённом районе и поэтому удалось избежать большого количества жертв и разрушений. По данным агенства «Синьхуа» в Кызылсу-Киргизском автономном округе на западе Китая подземными толчками нанесен ущерб 124 постройкам (фото 1, 2). Погиб один житель деревни в уезде Акто, чей дом был разрушен в результате удара стихии. Сильные толчки были ощутимы в близлежащем Кашгарском округе. В южной части Синьцзяна на несколько часов было прекращено движение по железной дороге. По сообщению агенства UzNews землетрясение ощущалось в Ташкенте с интенсивностью 3 балла, в городах Ферганской долины –3-4 балла.





Фото 1. Обрушение внешней стены и части крыши (агенство «Синьхуа»)

Фото 2. Разбор завалов (агенство «Синьхуа»)

Толчки ощутили и жители Кыргызстана. Как сообщили в МЧС, на территории Ошской области землетрясение проявилось с интенсивностью 4.5 балла. Жители многоэтажных жилых домов микрорайона Анар города Ош выбегали из домов. Сильные афтершоки также ощущались во многих населённых пунктах Кыргызстана и соседних областей.

Для создания более полной картины возможного проявления главного толчка получены расчётные значения интенсивности (рисунок 8, таблица 3) с помощью программы «SEISMIC INTENSITY» [8]. При выполнении расчётов не учитывались геологические особенности строения региона, но такие данные важны для МЧС при оперативной оценке ситуации в эпицентральной зоне. В данном случае интенсивность сотрясений на территории Кыргызстана не превышала 4.6 балла по шкале MSK-64 [9].



Рисунок 8. Распределение интенсивности колебаний в баллах при землетрясении в Акетао.

Таблица 3. Фрагмент расчётной	интенсивности (Ii) в нас	елённых пунктах Кыргызстана
при Акетаоском землетрясении	2016 г. (М =6.3), получ	енной с помощью программы
«SEISMIC INTENSITY» [8].		

N⁰	Населённый пункт	R,км	Баллы (Ii)	№	Населённый пункт	R,км	Баллы (Ii)
1.	Нура	52.59	4.6	15	Чий-Талаа	97.68	3.8
2.	Кёк-Суу	63.93	4.3	16	Колдук	98.70	3.8
3.	Бор-Дёбё	67.90	4.3	17	Джергетал	99.03	3.8
4.	Улугчат	79.76	4.1	18	Терек	100.0	3.8
5.	Сары-Таш - аймак	85.09	4.0	19	Талды-Суу - аймак	101.0	3.7
6.	Геджиге	91.23	3.9	20	Сопу-Коргон - аймак	101.8	3.7
7.	Кёк-Булак	91.86	3.9	21	им. Гагарина	103.5	3.7
8.	Ак-Босого	92.83	3.9	22	Таргалак	104.5	3.7
9.	Арча-Булак	93.09	3.9	23	Сары-Могол - аймак	105.3	3.7
10.	Кичи-Каракол - аймак	93.97	3.8	24	Аскалы	106.6	3.7
11.	Кызыл-Алай	94.65	3.8	25	Кун-Элек	114.0	3.6
12.	Ак-Жай	94.79	3.8	26	Чон-Бюлёлю	115.2	3.6
13.	Чоң-Каракол	95.51	3.8	27	Кара-Кабак	115.7	3.6
14.	Кургак	97.71	3.8	28	Кошулуш - аймак	115.8	3.6

**История сейсмичности.** С 1896 года по настоящее время на сравнительно небольшой территории в пределах координат, показанных на рисунке 9, зарегистрировано землетрясений в диапазоне энергетических классов  $Kp = 14.6 \div 16.6$ . Самым сильным событием этого района стало Маркансуйское землетрясение, произошедшее 11 августа 1974 года в  $01^{h} 13^{m}$  на территории Китая в 30 км от южной границы Кыргызстана [10]. Так же, как и Акетаоское 2016 года, Маркансуйское землетрясение сопровождалось большим количеством афтершоков, два из которых были достаточно сильными (Kp=14.4 и Kp=14.7). Так же, как и при Акетаоском, Маркасуйскому землетрясению предшествовал форшок с Kp=11.9. Механизм очага имел сдвиговый тип подвижки. Сдвигами были и сильные афтершоки.



Рисунок 10. Карта эпицентров землетрясений с Кр ≥ 12.0 зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня с 1895 г. по 2019 год. Звёздочкой показан эпицентр Акетаоского землетрясения.

1 ноября 1978 года в 19<sup>h</sup>48<sup>m</sup> произошло восьмибалльное Дараут-Курганское землетрясение с Кр=16.0, эпицентр которого находился у северного подножья Заалайского хребта. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками.

Через 30 лет – 5 октября 2008 года в 15<sup>h</sup> 52<sup>m</sup> мощной толчок (Кр=15.3) полностью разрушил посёлок Нура в восточной части Алайской долины, погибло 74 человека. Механизм очага – сдвиг. Землетрясение сопровождалось сильными афтершоками.

Через 8 лет после Нуринского события 26 июня 2016 г. в 11<sup>h</sup>17<sup>m</sup> в Алайском районе Ошской области произошло Кызыл-Артское землетрясение с интенсивностью 7.5 баллов по шкале MSK-64. Эпицентр находился на северном склоне Заалайского хребта. Механизм очага соответствовал взбросу с элементами сдвига. Землетрясение сопровождалось множеством афтершоков, среди которых были ощутимые.

Зона сочленения Памира с Тянь-Шанем является одной из крупнейших в мире по частоте, плотности и силе землетрясений [11] и отличается высокой степенью сейсмической опасности не только для Китая, но и для юга Кыргызстана. Средний период повторяемости землетрясений с Кр ≥ 15.0 в этой зоне крайне мал, порядка 6 лет. Полагают, что одним из факторов, определяющих высокую сейсмичность зоны, является её особая структура, способная активизироваться под действием деформационных волн. Особенности свойств этой структуры связывают с мантией [12,13 др.]. Землетрясения происходят здесь в условиях близмеридионального сжатия за счёт Индо-Евразийской

коллизии и имеют общие черты. Все они сопровождаются многочисленными афтершоками, многие из которых ощутимые. Большая часть землетрясений имеет сдвиговый тип подвижки в очагах.

# Литература

- 1. Каталог землетрясений Кыргызстана за 2016 год. Фонды Института сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики.
- 2. International Seismological Centre, *On-line Bulletin*, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2016. <u>http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/</u>
- 3. ФИЦ ЕГС РАН <u>ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\_Catalog/2016/16d063sb</u>
- 4. Kashima T. ViewWave Help. 2002. IISEE, BRI.
- 5. Аптикаев Ф.Ф. (2012) Инструментальная шкала сейсмической интенсивности.// М.:Наука и образование.175 с.
- 6. Ma, Y., Qiao, X., Chen, W., and Zhou, Y., 2018. Source model of 2016 Mw6.6 Aketao earthquake, Xinjiang derived from Sentinel-1 InSAR observation, *Geodesy and Geodynamics*, 9, 5, 372-377, DOI: 10.1016/j.geog.2018.05.001
- 7. Чедия О.К. Юг Средней Азии в новейшую эпоху горообразования. Фрунзе: Илим, 1972, кн. 2. 225 с.
- Гребенникова В.В., Миркин Е.Л. Метод оперативного расчета интенсивности сейсмических сотрясений в населенных пунктах Кыргызстана при сильных землетрясениях // Землетрясения Северной Евразии. 2011 год. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2017. С. 495–501.
- 9. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
- 10. Землетрясения в СССР в 1974. М.:Наука, 1977, с.52-53.
- 11. Никонов А.А., Ваков А.В., Веселов И.А. (1983) Сейсмотектоника и землетрясения зоны сближения Памира и Тянь-Шаня. Москва: Наука, 1983
- 12. Xu, X.and Q. Deng (1996). Nonlinear characteristics of paleoseismicity in China, J. Geophys. Res., 101(B3), 6209.
- 13. Stepahko A.A. Seismodinamics and deep internal origin of the North China zone of strong earthquakes //Geodynamics and tectonophisics. 2011. v2. №4. P.341–355.

Рецензент: д. ф-м. н. А.М. Муралиев