

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.
Институт сейсмологии НАН КР,
г.Бишкек, Кыргызстан

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ СОСЕДНИХ СТРАН

Аннотация: Оценка неопределенности магнитуды является актуальной задачей сейсмологии. В статье проводится аналогия неопределенности магнитуд в сейсмологии с неопределенностью Гейзенберга в физике. По данным сетей KNET и KRNET определены неопределенности магнитуд: m_{pv} , ML, Ms и энергетического класса $K=lgE$ (Дж) ряда ощутимых землетрясений Тянь-Шаня за 2006-2013 гг.. Отмечено, что выражение неопределенности магнитуды землетрясения в каталоге, на карте и др. повысит надежность оценки сейсмической опасности.

Ключевые слова: Магнитуда, энергетический класс, амплитуда, колебательная скорость, период, время прихода сейсмических волн, эпицентральное расстояние, оценка сейсмической опасности, сеть сейсмологических станций, среднее арифметическое значение, среднеквадратическая ошибка, погрешность, неопределенность магнитуды.

КЫРГЫЗСТАНДАГЫ ЖАНА КОҢШУ ӨЛКӨЛӨРДҮН ЖАКЫНКЫ РАЙОНДОРУНДОГУ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН МАГНИТУДАЛАРЫНЫН БЕЛГИСИЗДИГИ

Кыскача мазмуну: Жер титирөөнүн магнитудасынын белгисиздигин аныктоо сейсмологиянын актуалдуу маселеси болуп саналат. Макалада сейсмологиядагы магнитуданын белгисиздигинин жана физикадагы Гейзенбергтин белгисиздигинин окшоштурулушу жүргүзүлөт. 2006-2013 жылдарда болгон Тянь-Шандын бир катар жер титирөөлөрүнүн магнитудаларынын (m_{pv} , ML, Ms) жана энергетикалык класстын $K=lgE$ (Дж) белгисиздиги KNET жана KRNET түйүндөрүнүн маалыматтары боюнча аныкталган. Жер титирөөлөрдүн магнитудаларынын белгисиздигин каталогдо, картада ж.б. чагылдыруусу сейсмикалык коркунучка баа берүүнүн ишенимдүүлүгүнүн жогорулашына алып келери белгиленген.

Негизги сөздөр: Магнитуда, энергиялык класс, амплитуда, термелтүүчү ылдамдык, период, сейсмикалык толкундардын келүү убактысы, эпицентралдык аралык, сейсмикалык коркунучту баалоо, сейсмикалык станциялардын тармагы, арифметикалык орточо маани, ортоквадраттык ката, каталык, магнитуданын ачык эместиги.

MAGNITUDE UNCERTAINTIES OF EARTHQUAKES IN KYRGYZSTAN AND ADJACENT AREAS OF NEIGHBORING COUNTRIES

Abstract: Earthquake magnitude uncertainty estimation is an important task of seismology at present. Analogy between magnitude uncertainty in seismology and the Heisenberg's uncertainty in physics is held in the paper. Uncertainties of magnitudes (m_{pv} , ML, Ms) and energy class $K=lgE$

(J) are estimated for a number of perceptible earthquakes of the Tien Shan during 2006-2013 based on the data of KNET и KRNЕT. It is noted that expression of earthquake magnitude uncertainty in a catalog, a map etc. will increase the reliability of seismic hazard assessment.

Keywords: Magnitude, energyclass, amplitude, oscillationvelocity, period, seismic waves' arrival time, epicentral distance, seismic hazard assessment, network of seismic stations, arithmetic mean (average), mean(-root)-square error, error, magnitude uncertainty.

Сети сейсмологических станций Кыргызстана (KNET, KRNЕT), Казахстана и Узбекистана позволяют определять магнитуды: m_{pv} , M_s , M_L и энергетический класс $K=lgE$ (Дж). Магнитуды объемных волн - m_{pv} , поверхностных волн - M_s и локальная магнитуда - M_L обоснованы Рихтером и Гутенбергом [2, 5], энергетический класс K – Раутиан [1]. При этом, на записях сейсмических волн каждой станции измеряют максимум амплитуды (A_{max}), максимум колебательной скорости (A/T , где A – амплитуда колебаний Земли в микрометрах, T -период в секундах) и время прихода сейсмических волн, определяют эпицентрально (гипоцентрально) расстояние и, с учетом калибровочных кривых, оценивают величину магнитуды на каждой станции. Вероятное наблюдаемое значение магнитуды определяется как среднее по количеству станций со свойственной стандартной ошибкой и неопределенностью [4, 6-9]. Неопределенность магнитуды (magnitude uncertainties) обусловлена тем, что имеются принципиальные ограничения погрешностей (неувязки) измерений, в частности, координат, времени, интенсивности колебаний, дискретности геофизической среды, скорости распространения сейсмических волн и т.д. Следует подчеркнуть, что ошибки (погрешность) измерений в отличие от понятия обычных ошибок нельзя избежать, поскольку они являются следствием ограниченных возможностей, например, измерительной техники, методик и т.д. При этом, можно отметить, что существует определенная аналогия с неопределенностью Гейзенберга (в физике). В 1993 г. опубликовано “Руководство по выражению неопределенности измерения” [10], в соавторы которого входят Международное бюро мер и весов (МБМВ), Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международная федерация клинической химии (МФКХ), Международная организация по стандартизации (ИСО), Международный союз по чистой и прикладной химии (ИЮПАК), Международный союз по чистой и прикладной физике (ИЮПАП), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ). Данное руководство фактически приобрело статус международного регламента, обязательного к применению. Для дальнейшей конкретизации описаний ниже приведем определение терминов неопределенности измерений:

1. **Стандартная неопределенность** – неопределенность, выраженная в виде стандартного отклонения.
2. **Расширенная неопределенность** – величина, задающая интервал вокруг результата измерения, в пределах которого, как ожидается, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине.

Примечания.

1. Каждому значению расширенной неопределенности сопоставляется значение ее вероятности охвата P .
2. Аналогом расширенной неопределенности являются доверительные границы погрешности измерений.
3. **Вероятность охвата** – вероятность, которой, по мнению экспериментатора, соответствует расширенная неопределенность результата измерений.

Примечания.

1. Аналогом этого термина является доверительная вероятность, соответствующая доверительным границам погрешности.

2. Вероятность охвата выбирается с учетом информации о виде закона распределения неопределенности.
4. **Коэффициент охвата** – коэффициент, зависящий от вида распределения неопределенности результата измерений и вероятности охвата и численно равный отношению расширенной неопределенности, соответствующей заданной вероятности охвата, к стандартной неопределенности.
5. **Число степеней свободы** – параметр статистического распределения, равный числу независимых связей оцениваемой статистической выборки.

Международный сейсмологический центр (ISC) в последние годы проводит работу по оценке неопределенностей магнитуд землетрясений [3]. Рассмотрим неопределенности магнитуд ряда землетрясений Кыргызстан и прилегающих районов соседних стран в пределах сети сейсмических станций KNET, KRNET, KNDS, SOME (таблица 1). В качестве примера возьмём карточку Кочкорского землетрясения 25.12.2006, где использованы данные 28 станций (таблица 2). Здесь были определены магнитуда (m_p) и энергетический класс (k_{mag}), при определении которых участвовали не все станции - количество станций составило $n=18$ и $n=15$, соответственно. Для оценки неопределенности магнитуды находим среднее арифметическое значения (X_s), определяем среднюю квадратическую погрешность магнитуды на одной станции (M_X), находим среднюю квадратическую ошибку среднего арифметического значения (M_{X_s}), рассчитываем относительную погрешность ($U = M_{X_s} * 100 / X_s$, в процентах) и получаем наиболее вероятное значение ($X_{sv} = X_s + M_{X_s}$). Для землетрясений, приведенных в таблице 1, определены неопределенности магнитуд: m_p , M_L , M_s и энергетического класса K , которые показаны в таблицах 3-6, соответственно.

Таблица 1.

Землетрясения Тянь-Шаня, где определены неопределенности магнитуд

№	Дата	Название	Координаты: фл	Сейсмическая сеть
1	20061225	Кочкор	42° 08,05' 76° 01,45'	KNET, KRNET
2	20110318	Георгиевка	42°59,63'74° 54,42'	KNET, KRNET
3	20110409	Жумгал	42°03,5' 74° 48,48'	KNET, KRNET
4	20110501	Тургень (Казахстан)	43°37,45' 77° 39,42'	KNET, KRNET, KNDS
5	20110602	Каракол	42°25,18' 78° 26,32'	KNET, KRNET
6	20110719	Кан	40°7,92' 71° 26,78'	KNET, KRNET
7	20111224	Карасу	41°37,95'73° 8,74'	KNET, KRNET
8	20120205	Молдо-Тоо	41°34,08'74°45,84'	KNET, KRNET
9	20120530	Сюгеты (Казахстан)	43°29,25'78°43,58'	KNET, KRNET, KNDS
10	20120912	Аркит	41°46,94' 72°6,41'	KNET, KRNET
11	20130128	Каркыра-Сарыджаз	42°34,63'73° 41,19'	KNET, KRNET, SOME

Таблица 2.

Бюллетень Кочкорского землетрясения

date	origin	lat	long	depth	mag	no	dl	gap	d	rms	avwt	se	kmag											
20061225	20 0 58.34	42n	5.16	76e	2.57	2.83	6.15	31	24	97	1	0.7804	1.00	0.10	14.21									
seh	sez	q	sqd	adj	in	nr	avr	aar	nm	avxm	mdxm	sdxm	nf	avfm	mdfm	sdm	vpvs							
3.4	0.5	d	c	0.07	10	46	.0000	.573	0	3	6.15	0.0	0	7	1	0.780	0.0	1.693						
vp	vs	vf	vp/vs	h	mc	mlh	-- travel times and delays --																	
6.01	3.55	8.64	1.70	13.00	5.44	5.52																		
stn	premk	P-sec	presid	std-er	Amp	prp	ptcal	sremk	S-sec	sresid	S-P	Ams	prs	stob	stcal	dist	azm	ain	kmag	mpv	vad	gp	gs	
tulh	IPU	63.0	0.26	0.10	875.05	0.2	4.66	4.40	IS	66.7	0.75	3.7	0.6	8.36	7.60	24.2	43	101	-----	7.8	0.2	-0.2	-0.1	
boim	EP	66.2	-0.15	0.10	875.05	0.2	7.86	8.00								44.8	349	75						
tkza	IPU	70.9	0.90	0.10	260.70	0.2	12.56	11.66	IS	78.8	0.29	7.9	581.10	0.2	20.46	20.17	65.6	269	75	14.67	7.9	-1.1	0.8	0.4
nrn	IPU	70.8	-0.61	0.10	66.0	1.0	12.46	13.07	ES	80.3	-0.65	9.5	120.0	2.0	21.96	22.61	74.1	184	75	13.43	4.8	0.6	-0.7	-0.5
kds	EP	74.3	-0.65	0.10	15.96	16.61										95.0	87	71						
ttkm	IPD	75.9	0.14	0.10	82.33	0.3	17.56	17.42	IS	88.1	-0.38	12.2	150.45	0.2	29.76	30.14	99.7	339	71	14.17	7.4	-0.2	0.2	0.0
tkbk	IPU	77.8	0.28	0.10	59.55	0.3	19.46	19.18	IS	91.9	0.38	14.1	620.70	0.4	33.56	33.18	110.2	305	69	15.19	7.2	0.3	0.3	0.9
tuch	IPD	80.6	0.13	0.11	26.880	0.4	22.26	22.12	IS	96.0	-0.62	15.4	62.160	0.3	37.66	38.27	127.4	278	69	13.56	6.8	-0.3	0.3	0.1
bis	IPD	82.0	-0.90	0.11	23.000	6.0	23.66	24.56	ES	99.5	-1.33	17.5	53.000	8.0	41.16	42.48	143.3	306	61	13.68	5.4	0.8	-1.0	-0.8
arl	IPU	83.4	0.09	0.12	25.06	24.97										145.5	260	61						
tehm	IPD	83.5	0.07	0.12	15.400	0.2	25.16	25.08	IS	101.1	-0.64	17.6	92.600	0.3	42.76	43.39	146.7	314	61	13.96	6.9	-0.1	-0.1	-0.2
anv	IP	84.5	-0.24	0.12	26.16	26.40										154.6	59	58						
tusp	IPU	89.3	0.56	0.16	30.270	0.3	30.96	30.40	IS	111.1	0.17	21.8	43.090	0.3	52.76	52.59	182.2	317	56	13.65	7.1	0.1	-0.2	-0.2
taml	EP	91.7	0.93	0.22	14.57	0.2	33.36	32.42	IS	114.4	-0.04	22.7	210.60	0.5	56.06	56.09	194.3	272	56	14.54	7.0	-0.7	0.2	-0.3
erk	IPD	89.2	-1.73	0.22	30.86	32.58										196.8	290	56						
teks	IPU	92.5	1.49	0.22	25.60	0.4	34.16	32.66	IS	116.5	1.65	24.0	125.90	0.6	58.16	56.51	197.3	290	56	14.23	7.0	0.0	0.5	0.9
prz	IP	92.0	0.65	0.21	32.0	1.0	33.66	33.01	ES	116.0	0.55	24.0	83.0	1.6	57.66	57.10	199.3	77	56	13.97	5.8	0.4	-0.3	-0.1
aku	U	99.2	-0.83	d-----	40.86	41.69										263.4	230	44						
ars	IPU	101.7	1.09	d-----	35.7	1.0	43.36	42.27								268.5	253	44						
akk	IPU	100.4	-2.07	d-----	55.0	0.8	42.06	44.13								284.1	260	44						
mns	IPD	104.0	0.08	d-----	36.7	1.0	45.66	45.57								295.2	280	44						
sfk	IPU	105.4	-0.84	g	0.14				ES	144.3	3.10	g	38.9	80.0	4.0	85.96	82.86	313.4	224	44	14.33	4.8	-----	-----
osh	IPU	106.2	-1.10	d-----	41.5	6.0	47.86	48.96	ES	145.8	2.76	d	39.6	79.0	7.4	87.46	84.69	323.2	239	44	14.36	4.7	-----	-----
ark	EP	110.1	0.75	d-----	45.0	2.0	51.76	51.00	ES	155.1	8.52	d	45.0	75.8	2.0	96.76	88.24	339.5	266	44	14.59	5.3	-----	-----
chv	IP	113.9	-1.45	d-----	46.0	1.0	55.56	57.01	ES	161.9	4.93	d	48.0	0.0	103.56	98.63	387.3	237	44	-----	-----	-----	-----	
trs	IP	117.8	-0.39	d-----	49.0	1.0	59.46	59.85	ES	169.9	8.02	d	52.1	0.0	111.56	103.53	410.7	262	44	-----	-----	-----	-----	
drk	EP	125.7	1.36	d-----	67.36	66.00										459.9	232	44						
btk	IPU	126.8	-1.52	d-----	22.5	2.0	68.46	69.97	ES	189.5	10.10	d	62.7	71.0	2.0	131.16	121.05	493.4	245	44	14.89	5.2	-----	-----

Примечание: prv – магнитула объемных волн, kmag – энергетический класс К. Коды сейсмических станций: tulh – Улахол, boim – Боом, tkza – Кызарт, nrn – Нарын, kds – Каджысай, ttkm – Токмок, tkbk – Карагайбулак, tuch – Учтор, bis – Бишкек, arl – Арал, tehm – Чумыш, anv – Ананьево, tusp – Успеновка, taml – Алмашу, erk – Еркинсай, prz – Пжвальск, aku – Алайку, ars – Арсланбоб, akk – Аккыя, mns – Манас, sfk – Сопу-Коргон, osh – Ош, ark – Аркит, chv – Чаувай, trs – Терексай, drk – Дороот-Коргон, btk – Баткен.

Таблица 3.

Неопределенность магнитуды m_{trv}

Дата	n	X_s	M_X	M_{Xs}	U,%	X_{sv}
20061225	18	6,26	1,08	0,25	4,07	6,52
20110318	17	5,25	0,40	0,10	1,86	5,35
20110409	12	5,14	0,27	0,08	1,54	5,22
20110501	15	5,43	0,50	0,13	2,40	5,56
20110602	11	5,03	0,17	0,05	1,04	5,08
20110719	18	6,48	0,48	0,11	1,76	6,60
20111224	19	4,92	0,36	0,08	1,68	5,00
20120205	21	5,53	0,32	0,07	1,28	5,60
20120530	23	6,29	0,46	0,10	1,51	6,38
20120912	20	5,04	0,32	0,07	1,40	5,11
20130128	16	6,79	0,26	0,07	0,97	6,85

Примечание: n – количество станций, X_s – среднее арифметическое значение, M_X – средняя квадратическая погрешность, M_{Xs} – средняя квадратическая ошибка среднего арифметического значения, U- относительная погрешность, X_{sv} – наиболее вероятное значение.

Таблица 4.

Неопределенность магнитуды M_L

Дата	n	X_s	M_X	M_{Xs}	U,%	X_{sv}
20061225						
20110318	17	4,16	0,30	0,07	1,76	4,24
20110409	12	4,56	0,32	0,09	2,01	4,65
20110501	15	5,08	0,29	0,08	1,49	5,16
20110602	11	4,63	0,28	0,09	1,84	4,71
20110719	18	6,16	0,43	0,10	1,66	6,26
20111224	19	4,25	0,35	0,08	1,88	4,33
20120205						

Примечание: n – количество станций, X_s – среднее арифметическое значение, M_X – средняя квадратическая погрешность, M_{Xs} – средняя квадратическая ошибка среднего арифметического значения, U- относительная погрешность, X_{sv} – наиболее вероятное значение.

Таблица 5.

Неопределенность магнитуды M_s

Дата	n	X_s	M_X	M_{Xs}	U,%	X_{sv}
20111224						
20120205	18	4,31	0,34	0,08	1,86	4,39
20120530	22	5,18	0,38	0,08	1,56	5,26
20120912	17	3,91	0,30	0,07	1,88	3,98
20130128	14	5,69	0,24	0,06	1,14	5,75

Примечание: n – количество станций, X_s – среднее арифметическое значение, M_X – средняя квадратическая погрешность, M_{Xs} – средняя квадратическая ошибка среднего

арифметического значения, U - относительная погрешность, X_{sv} – наиболее вероятное значение.

Таблица 6.

Неопределенность энергетического класса $K=lgE$, Дж

Дата	n	X_s	M_X	M_{Xs}	$U, \%$	X_{sv}
20061225	15	14,21	0,51	0,13	0,92	14,35
20110318	17	11,28	0,63	0,15	1,36	11,43
20110409	12	11,65	0,39	0,11	0,97	11,77
20110501	15	12,58	0,55	0,14	1,12	12,72
20110602	11	11,61	0,29	0,09	0,76	11,7
20110719	18	14,15	0,68	0,16	1,13	14,31
20111224	19	11,20	0,46	0,11	0,94	11,31
20120205	21	11,25	0,45	0,10	0,80	12,45
20120530	23	13,73	0,60	0,12	0,91	13,86
20120912	20	11,50	0,71	0,16	1,38	11,65
20130128	16	15,12	0,39	0,10	0,65	15,21

Примечание: n – количество станций, X_s – среднее арифметическое значение, M_X – средняя квадратическая погрешность, M_{Xs} – средняя квадратическая ошибка среднего арифметического значения, U – относительная погрешность, X_{sv} – наиболее вероятное значение.

Величина M_{Xs} магнитуды m_{rv} изменяется от 0,07 до 0,25; магнитуды M_L – от 0,07 до 0,10; магнитуды M_s – от 0,06 до 0,8; энергетического класса – от 0,09 до 0,16. Следует отметить, что по данным Международного центра данных (IDC) по данным 51 станций Международной системы мониторинга для землетрясения Каркыра–Сарыджаз неопределенность магнитуды m_b составляла 0,1, а неопределенность магнитуды M_L – 0,2 (по данным 8 станций).

Заключение

1. Неопределенность магнитуды землетрясений представляет собой фундаментальную величину, аналогичную неопределенности Гейзенберга в физике. Неопределенность магнитуды обусловлена тем, что имеются принципиальные ограничения неувязки (погрешность) измерений, в частности, координат, времени, интенсивности колебаний, дискретности геофизической среды, скорости распространения сейсмических волн и т.д. Неувязки нельзя избежать, поскольку они являются следствием ограниченных возможностей.
2. Изучение неопределенности магнитуды является актуальной на современном уровне развития сейсмологии. Международный сейсмологический центр (ISC) в последние годы определяет неопределенность магнитуды землетрясений руководствуясь тем, что выражение неопределенности измерений приобрело статус международного регламента, обязательного к применению.
3. Систематическое определение неопределенности магнитуды может стать основой для разработки теории физики землетрясений, а также позволит повысить надежность оценки сейсмической опасности.
4. Впервые определены неопределенности магнитуд: m_{rv} , M_L , M_s и энергетического класса ряда ощутимых землетрясений Тянь-Шаня за 2006-2013 гг. по данным сейсмологических сетей KNET, KRNET и др.

Литература

1. Раутиан Т.Г. Проблема определения энергии землетрясений. //Сборник статей Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – Москва: 1974, с.107-112.
2. Gutenberg B. & Richter C.F. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration (second paper). //Bull. Seismol. Soc. Am., 1956a, 46, 105-145.
3. International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl, Seism, Cent., Thatcham United Kingdom, 2013.
4. Mueller C. Magnitude Uncertainty & Implications for Hazard, USGS NSHMP Workshop Memphis, Feb, 2012.
5. Richter. C.F. An instrumental earthquake magnitude scale. //Bull. Seismol. Soc, Am., 1935, 25, 1-32.
6. Rhoades D.A. Estimation of the Gutenberg-Richter relation allowing for individual earthquake magnitude uncertainties. //Tectonophysics, 1996, 258: 71-83.
7. Rhoades D.A. Estimation of attenuation relations for strong-motion data allowing for individual earthquake magnitude uncertainties. //Bull. Seismol. Soc. Am., 1997, 87: 1674-1678.
8. Rhoades D.A, Dowrick D.J. Effects of magnitude uncertainties on seismic hazard estimates, 12 WCEE, 2000:1-8.
9. Tinti S. and Mulargia F. Effects of magnitude uncertainties on estimating the parameters in the Gutenberg-Richter frequency-magnitude law. //Bull. Seismol. Soc. Am., 1985,75: 1681-1697.
10. <http://metro.ru/HTML/pogreshnost/>