

УДК 550.34

О ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ АНАЛИЗА КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

В.А. Мухамадеева, Н.А. Сычева

Проведен анализ каталогов сейсмических событий Международного сейсмологического центра (ISC), Института сейсмологии КР (KIS), Научной станции РАН в Бишкеке (KNET) для территории Бишкекского геодинамического полигона (41.5–43.5° с.ш. и 73–77° в.д.), дан сводный каталог землетрясений.

Ключевые слова: сейсмические события; каталог; магнитуда; класс; эпицентр.

PRELIMINARY RESULTS OF ANALYSIS OF THE EARTHQUAKES CATALOGS FOR THE TERRITORY OF BISHKEK GEODYNAMIC PROVING GROUND

V.A. Mukhamadeeva, N.A. Sycheva

The article analyzes the catalogs of seismic events of the International Seismological Centre (ISC), the Institute of Seismology of the Kyrgyz Republic (KIS), the Research Station RAS in Bishkek (KNET) for the territory of Bishkek geodynamic proving ground (41.5–43.5° N, 73–77° E) and provide a consolidated catalog of the earthquakes.

Keywords: catalog of the earthquakes; magnitude; class; epicenter.

Основной задачей настоящей работы является анализ трех каталогов землетрясений — Международного сейсмологического центра (ISC), Института сейсмологии НАН КР (KIS) и Научной станции РАН в Бишкеке (KNET) — для территории, ограниченной координатами: 41.5–43.5° с. ш. и 73–77° в. д. и включающей в себя Бишкекский геодинамический полигон (БГП).

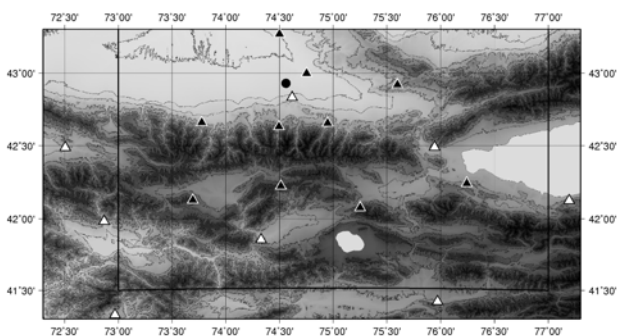


Рисунок 1 — Обзорная карта исследуемой территории с указанием местоположения сейсмических станций сети KNET (Научная станция РАН) и сети KRNET (Институт сейсмологии Кыргызской Республики). Прямоугольным контуром выделена площадь БГП

Во всех трех каталогах, помимо даты и времени происхождения сейсмического события, координат его эпицентра, глубины очага содержится информация и об энергетической характеристике землетрясения. В каталогах KNET и KIS она выражена в виде класса землетрясения К (традиционно использовавшегося на постсоветском пространстве для оценки силы местных землетрясений) или в виде магнитуды, локальной (M_l) и вычисленной по поверхностным волнам (M_{рv}), как в каталоге KIS. В каталоге ISC, помимо характерных для большей части землетрясений значений M_{рv}, приводятся магнитуды иных типов или даже отмечаются случаи полного отсутствия информации о типе магнитуды для отдельных сейсмических событий, что не позволяет унифицировать их магнитудную классификацию и свидетельствует о неоднородности шкалы магнитуд в каталоге ISC в целом.

Визуальный анализ имеющейся информации по всем трем указанным выше каталогам выявил наличие расхождений, порой весьма значительных, в оценке энергетических характеристик произошедших землетрясений, в определении глубины их гипоцентров. В меньшей степени различия проявили себя при определении местоположения событий и времени их возникновения.

Таблица 1 – Исходные данные по каталогам ISC, KIS, KNET с указанием диапазонов изменения энергетических характеристик сейсмических событий

Каталог	Всего событий	Диапазон изменений параметра				
		магнитуда			класс	
		ISC	KIS	KNET	KIS	KNET
ISC	166	3–4.9				
KIS	189		2.1–5.7		6–12.7	
KNET	217			1–5.3		5.7–13.6

Таблица 2 – Результаты попарного сравнения каталогов землетрясений

Каталоги объединенные	Всего отобрано пар	Диапазон изменений параметра				
		Магнитуда			Класс	
		ISC	KIS	KNET	KIS	KNET
KIS-ISC	107	3–4.9	2.3–5.2			
KNET-ISC	87	3–4.9		1.1–4.9		
KNET-KIS	101		2.3–5.7	1.6–5.3	6–12.7	6.9–13.6
KNET-KIS-ISC	75	3.0–4.9	2.4–5.2	1.7–4.9		

Для сравнительного анализа упомянутых выше каталогов были использованы данные за 2015 г. В рассмотрение были включены 166 событий из каталога ISC с магнитудой $M \geq 3$ (<http://www.isc.ac.uk>), все события из каталогов KIS и KNET, количество которых составило соответственно 189 и 217 (рисунок 1, таблица 1). Диапазоны значений магнитуд по каждому из принятых к рассмотрению каталогов землетрясений приводятся в соответствующих колонках таблицы 1.

На начальном этапе проводили попарное сравнение каталогов между собой с последующей выборкой идентичных событий в каждой паре каталогов. Основным критерием отбора пар событий была их пространственно-временная близость (а иногда и полное совпадение).

В процессе сравнения каталогов между собой (KIS-ISC, KNET-ISC и KNET-KIS) близкие по времени и расстоянию между эпицентрами сейсмические события отбирались в пары. В результате чего было получено 107, 87 и 101 пара событий из соответствующих комбинаций каталогов: KIS-ISC, KNET-ISC и KNET-KIS, которые в последующем

Таблица 3 – Данные по сейсмическим событиям, не вошедшим в пары при сравнении каталогов KIS-ISC, KNET-ISC и KNET-KIS

Рассматриваемые пары каталогов	Не вошедшие в пары сейсмические события		Диапазон изменений параметра	
	из каталога	кол-во событий	магнитуда	класс
KIS-ISC	ISC	59	3–4.4	
	KIS	82	2.3–5.7	
KNET-ISC	KNET	130	1–5.3	
	ISC	79	3–4.4	
KNET-KIS	KNET	116	1–3.0	5.7–9.5
	KIS	88	2.1–3.9	6–9.5

были использованы при создании сводного каталога сейсмических событий (таблица 2).

Было бы логично предположить, что события из каталога ISC с $M \geq 3$ (создаваемого, кстати сказать, на основе данных национальных сейсмологических служб государств Средней Азии), являясь достаточно представительными, должны были быть включены в полном объеме в каталоги KIS и KNET, однако из 166 выделенных из каталога ISC землетрясений, произошедших в пределах рассматриваемой территории в 2015 г., лишь в 107 случаях они повторились в каталоге KIS и в 87 случаях – в каталоге KNET.

Согласно данным, представленным в таблице 3, не все заявленные в отдельно взятом каталоге события “нашли” свое отражение в двух других.

Графическое представление положений эпицентров сейсмических событий, отобранных в пары из двух каталогов, и событий, зафиксированных лишь в одном из них, показано на рисунке 3.

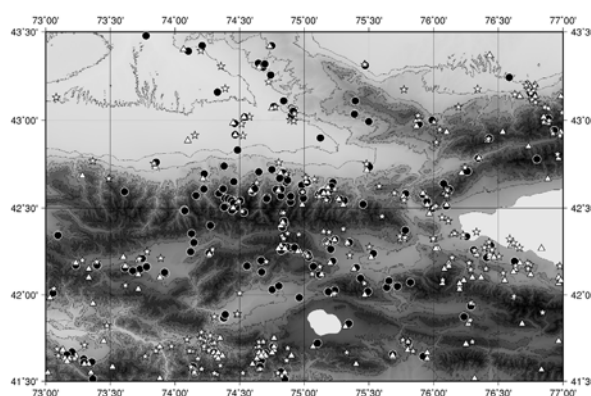


Рисунок 2 – Распределение эпицентров сейсмических событий на исследуемой территории по каталогам ISC (белые звездочки), KNET (черные кружочки) и KIS (белые треугольники)

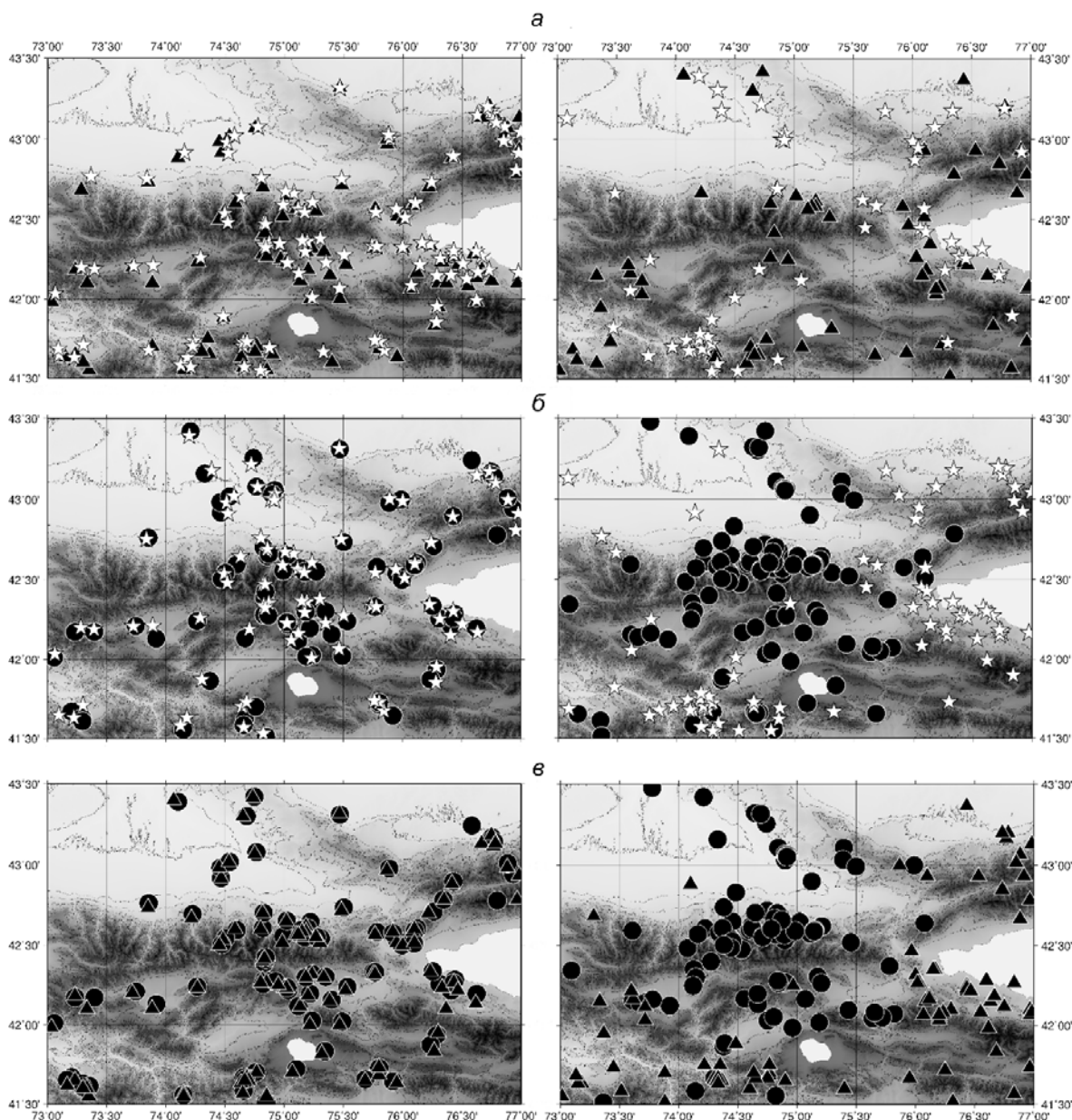


Рисунок 3 – Распределение эпицентров сейсмических событий на исследуемой территории при сравнении пар каталогов: а – KIS–ISC; б – KNET–ISC; в – KNET–KIS. На рисунках слева представлены пары событий, справа – одиночные. Сейсмические события из каталога ISC обозначены белыми звездочками, из каталогов KNET и KIS – соответственно черными кружочками и треугольниками

Нетрудно заметить, что в положениях эпицентров парных событий из каталогов ISC и KIS (рисунок 3, а) наблюдаются значительные расхождения, а одиночные события, как из каталога ISC, так и из каталога KIS, локализуются в виде разрозненных групп по всей территории исследуемой площади.

Аналогичная картина пространственного распределения эпицентров парных событий наблюдается и при рассмотрении пары каталогов KNET–ISC (рисунок 3, б). Однако в распределении эпицентров одиночных событий заметны некоторые особенности: в центральной части полигона наблю-

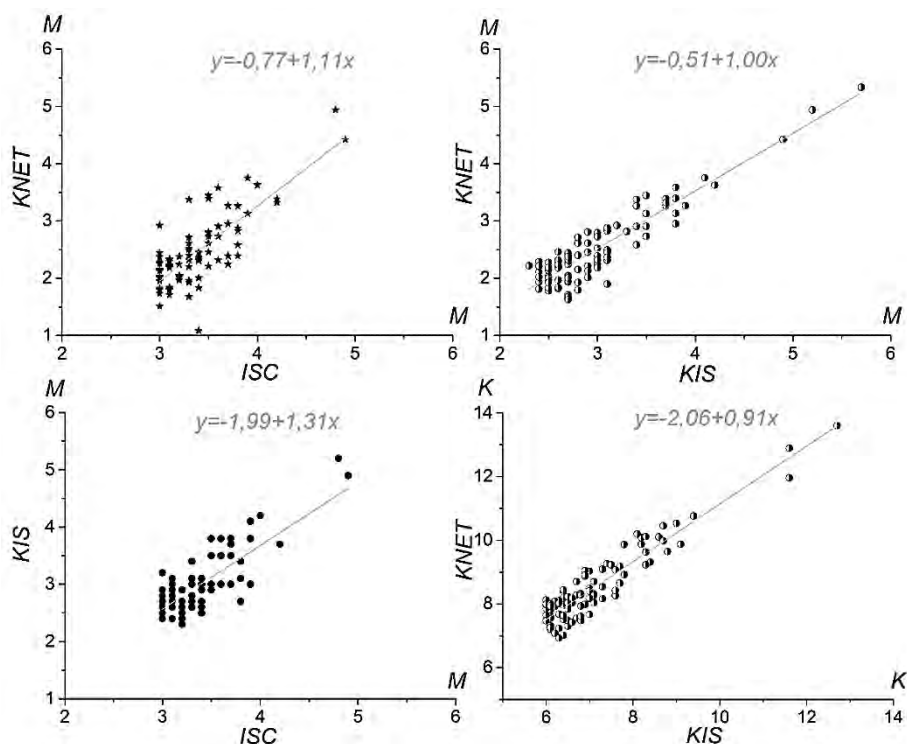


Рисунок 4 – Результаты сопоставления магнитуд (классов) для пар событий при различных комбинациях каталогов (их названия указаны рядом с координатными осями)

дается достаточно плотная концентрация событий из каталога KNET, а в его периферийных частях (восточной и южной) – событий из каталога ISC.

Наилучшим образом в пределах БГП совмещаются эпицентры парных событий из каталогов KNET–KIS (рисунок 3, в), заметные расхождения в местоположении аналогичных событий из этих двух каталогов отмечаются лишь в единичных случаях на окраинах полигона. Обращает на себя внимание обилие одиночных, главным образом слабых сейсмических событий в периферийной части рассматриваемой территории, зарегистрированных только сетью KIS (по технологическим причинам фиксация этих событий сетью KNET затруднена), и высокая плотность событий в центральной части полигона, зарегистрированных только сетью KNET (это преимущественно слабые землетрясения 6–7 классов).

Как показал детальный анализ выборок аналогичных событий по каждой сравниваемой паре каталогов, помимо различий в пространственно-временных характеристиках событий, существуют более чем очевидные несовпадения в значениях магнитуд (классов), в связи с чем, имеет смысл рассмотреть графики зависимостей между различными определениями магнитуд для каждой

из трех пар каталогов. Следует отметить, что при построениях по каталогу ISC были использованы значения магнитуды без детализации их типа, но преимущественно M_{rv} , магнитуды M_{rv} из каталога KIS и магнитуды, пересчитанные по известной формуле для класса: $K = 4 + 1.8 M$ из каталога KNET.

Как видно на графиках, построенных по парам каталогов KIS–ISC, ISC–KNET и KIS–KNET, строгого соответствия между магнитудами в парах событий не наблюдается (рисунок 4).

Так, например, в паре каталогов KIS–ISC в 11 случаях сейсмическим событиям с $M = 3$ из каталога ISC соответствуют события из каталога KIS со значениями магнитуд в диапазоне от 2.4 до 2.9, а в каталоге KNET – от 2.0 до 2.9; в паре KIS–KNET 8 событий с магнитудой, равной 3 (KIS), имеют в парах события, магнитуда которых изменяется в пределах от 2.2 до 2.8 (каталог KNET), в то же время классы этих событий варьируют в диапазоне от 6.8 до 7.3 и от 7.9 до 9 в каталогах KIS и KNET соответственно. При сравнении классов землетрясений событиям, например, с 6-го по 7-ой классы из каталога KIS в каталоге KNET будут соответствовать сейсмические события, диапазон которых изменяется от 6.9 до 9.1 класса.

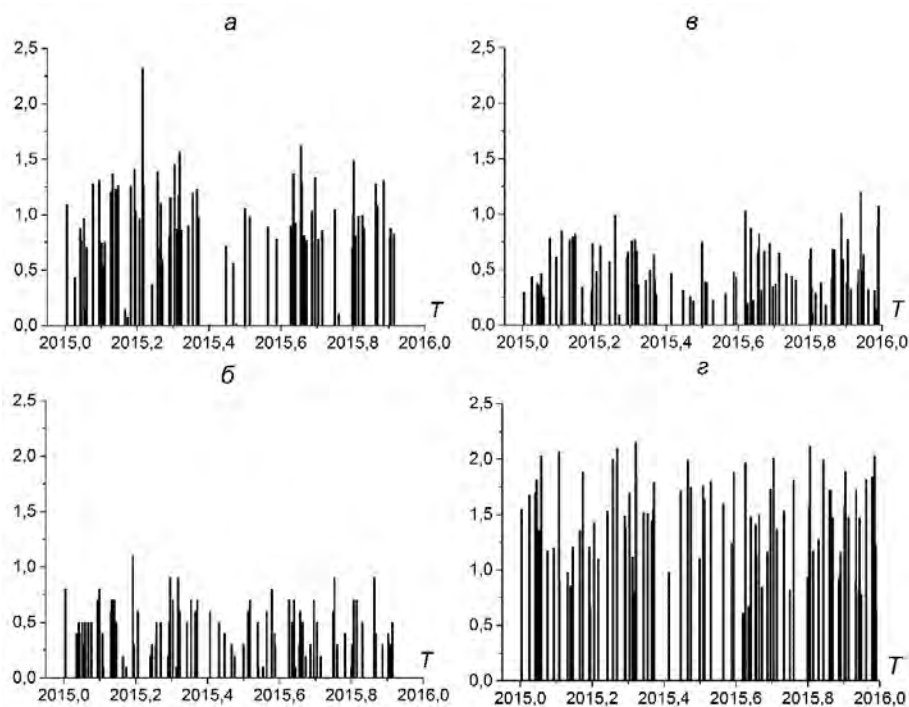


Рисунок 5 – Графики разностей магнитуд (а, б, в) и классов (г) сейсмических событий, произошедших в 2015 г., для различных пар каталогов: а – KNET–ISC; б – KIS–ISC; в, г – KNET–KIS

Таблица 4 – Результаты вычисления разностей магнитуд (классов) между аналогичными событиями в различных парах каталогов

Рассматриваемые пары каталогов	Магнитуда			Класс		
	мин.	макс.	ср. знач.	мин.	макс.	ср. знач.
KIS-ISC	0	1.1	0.4	---	---	---
KNET-ISC	0	2.3	0.9	---	---	---
KNET-KIS	0	1.2	0.5	0.4	2.2	1.4

Соотношения между магнитудами в парах событий при различных комбинациях каталогов (рисунок 4) могут быть представлены в виде линейных уравнений: $y = -0.77 + 1.11x$, или $M_{KNET} = -0.77 + 1.1 M_{ISC}$ (для пары KNET–ISC); $y = -0.51 + x$, или $M_{KNET} = -0.51 + M_{KIS}$ (для пары KNET–KIS), и $y = -1.99 + 1.31x$, или $M_{KIS} = -1.99 + 1.31 M_{ISC}$ (для пары KIS–ISC). Для классов событий уравнение линейной зависимости будет иметь вид: $y = -2.06 + 0.91x$, или $K_{KNET} = -2.06 + 0.91K_{KIS}$.

В количественном отношении существующие различия в определении энергетических характеристик событий, образующих пары в каталогах KIS–ISC, KNET–ISC и KNET–KIS, могут быть выражены через разность магнитуд/классов (таблица

4). Ниже приводятся графики ΔM и ΔK для различных пар каталогов (рисунок 5).

В наименьшей степени различие в определении магнитуд наблюдается в парах событий из каталогов KIS–ISC и KNET–KIS: ΔM колеблется в пределах от 0 до 1.1 (по модулю, в паре KIS–ISC) и от 0.2 до 1.2 (по модулю, в паре KNET–KIS), и средние значения указанных величин составляют соответственно 0.4 и 0.5. Значительный разброс ΔM от 0 до 1.6 (при среднем значении ΔM , равном 0.9) в парных событиях каталогов KNET–ISC объясняется различием типов сравниваемых магнитуд. Если сопоставлять классы идентичных событий в паре каталогов KNET–KIS, то расхождения будут наблюдаться в диапазоне от 0.4 до 2.2 при среднем значении ΔK , равном 1.4.

В результате совместного рассмотрения событий, отобранных по каждой из трех пар каталогов, было получено 75 “троек” событий. Это означает, что в 75 случаях одно и то же событие отразилось во всех трех рассматриваемых каталогах. Следует добавить, что во вновь созданном обобщенном каталоге землетрясений нашли отражение лишь 40 % событий из каталога KIS, 35 % – из каталога KNET и 45 % – из каталога ISC.

В окончательном варианте сводный каталог сейсмических событий представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Сводный каталог сейсмических событий

Дата	Время	Широта	Долгота	Глубина (KIS)	Глубина (KNET)	Глубина (ISC)	Класс (KIS)	Класс (KNET)	Магнитуда (ISC)
02.01.2015	14:24:31	41.63	74.63	21	7	0	6.6	8.2	3.4
10.01.2015	14:30:10	43.07	74.75	21	19	0	8.2	9.9	3.7
16.01.2015	13:52:37	42.70	76.22	18	23	3	6.3	8.0	3.1
17.01.2015	16:17:38	42.60	74.58	18	9	0	6.4	8.2	3.1
20.01.2015	6:52:38	42.32	75.75	17	7	0	6.3	7.7	3.0
22.01.2015	15:52:27	42.23	75.00	17	6	16	11.6	12.9	4.8
23.01.2015	0:51:30	42.28	74.82	17	13	0	7.0	9.0	3.5
29.01.2015	9:43:02	42.12	75.13	8	17	0	6.1	7.3	3.1
04.02.2015	14:09:13	41.65	73.23	13	0	0	7.1	8.3	3.7
09.02.2015	3:35:23	42.40	74.82	15	7	0	7.8	9.9	3.8
09.02.2015	19:35:23	42.93	76.98	24	14	8	8.4	9.3	3.7
17.02.2015	6:39:09	41.98	73.03	17	2	0	6.5	7.5	3.3
19.02.2015	23:43:40	41.57	74.15	19	16	0	7.3	8.2	3.4
20.02.2015	0:12:29	41.55	74.15	17	16	0	6.7	7.6	3.2
22.02.2015	2:44:39	42.58	76.08	18	4	2	7.7	8.7	3.8
22.02.2015	3:55:57	42.60	76.10	15	6	0	6.1	7.3	3.1
28.02.2015	18:09:08	42.00	75.22	17	17	21	9.4	10.8	3.9
03.03.2015	15:32:18	42.23	75.02	17	16	20	8.2	10.1	3.3
10.03.2015	10:50:52	42.10	73.33	20	0	0	7.1	8.3	3.8
11.03.2015	14:08:32	41.63	75.95	23	8	0	7.6	8.3	3.4
15.03.2015	12:57:28	42.23	74.27	17	16	2	6.6	8.0	3.2
15.03.2015	14:01:00	42.98	76.88	15	13	16	11.6	12.0	4.9
28.03.2015	20:55:11	42.32	75.77	19	9	21	9.0	10.5	4.0
03.04.2015	16:27:26	42.88	76.42	19	7	0	6.2	7.1	3.1
03.04.2015	20:17:01	42.97	75.87	22	21	0	6.7	8.7	3.3
07.04.2015	22:19:26	42.15	75.38	19	7	0	6.9	8.9	3.3
08.04.2015	3:35:30	42.53	74.48	17	14	19	8.1	10.2	3.5
15.04.2015	11:16:23	43.13	76.67	21	21	0	7.0	8.5	3.3
16.04.2015	10:32:00	41.55	73.35	19	16	0	6.3	7.7	3.2
20.04.2015	9:28:46	42.18	73.23	16	10	0	7.1	8.0	3.7
23.04.2015	10:39:45	42.20	73.72	17	5	15	7.8	8.9	3.6
25.04.2015	8:48:13	42.10	73.88	14	7	0	6.5	7.3	3.4
26.04.2015	20:36:38	42.57	75.10	16	12	0	6.9	9.1	3.5
26.04.2015	20:41:52	42.57	75.10	18	12	20	7.4	9.3	3.0
27.04.2015	3:53:40	42.50	74.45	13	11	0	6.0	7.9	3.0
04.05.2015	11:19:55	42.57	75.77	21	22	3	6.8	8.3	3.3
08.05.2015	20:51:44	42.92	74.47	21	7	0	6.1	7.6	3.2

Дата	Время	Широта	Долгота	Глубина (KIS)	Глубина (KNET)	Глубина (ISC)	Класс (KIS)	Класс (KNET)	Магнитуда (ISC)
13.05.2015	5:26:10	42.00	75.47	15	7	0	6.1	7.5	3.2
14.05.2015	3:13:11	41.55	74.85	20	19	0	6.4	8.0	3.1
15.05.2015	4:13:30	42.22	75.52	12	7	0	7.3	9.1	3.8
11.06.2015	18:04:38	42.98	74.45	20	19	0	6.4	8.1	3.0
18.06.2015	20:52:29	42.52	74.98	18	17	0	6.4	8.4	3.0
21.06.2015	23:40:18	42.73	73.85	21	15	21	8.7	10.5	3.6
30.06.2015	18:03:05	42.10	76.37	18	13	0	6.4	7.5	3.0
05.07.2015	14:49:43	42.27	74.85	19	19	3	6.0	7.6	3.0
24.07.2015	19:14:57	42.32	75.23	14	14	0	7.1	8.7	3.5
02.08.2015	16:13:16	42.23	76.33	20	13	0	7.3	8.5	3.3
17.08.2015	2:15:04	42.18	75.20	14	13	0	6.0	8.0	3.1
20.08.2015	2:08:20	41.70	74.77	13	0	0	6.8	7.5	3.3
22.08.2015	8:00:22	42.70	74.82	17	12	0	7.7	9.2	3.8
27.08.2015	10:04:45	42.27	76.43	20	19	0	7.0	8.4	3.4
28.08.2015	4:44:47	42.22	76.47	20	16	0	7.0	7.7	3.2
28.08.2015	14:48:02	42.52	75.95	19	4	4	6.9	8.0	3.5
28.08.2015	16:50:09	43.18	76.75	20	31	5	6.8	7.9	3.1
31.08.2015	1:42:02	41.68	75.80	20	14	0	8.6	10.1	4.2
02.09.2015	18:45:08	41.57	74.65	20	17	21	8.8	9.6	3.9
08.09.2015	3:56:12	42.50	76.00	18	7	0	7.1	8.3	3.4
11.09.2015	11:58:13	43.02	74.53	16	15	0	6.5	8.2	3.4
14.09.2015	12:09:46	42.65	75.02	15	7	0	6.9	8.9	3.5
18.09.2015	2:29:41	43.32	75.47	14	7	0	6.5	7.9	3.0
30.09.2015	21:32:10	41.60	73.30	19	12	0	7.6	8.4	3.5
04.10.2015	21:43:17	42.55	75.17	18	14	17	8.3	10.1	3.5
19.10.2015	4:11:25	42.13	76.62	24	17	0	8.3	9.2	3.6
20.10.2015	2:57:56	42.78	76.97	18	0	0	6.8	7.6	3.0
20.10.2015	20:14:34	42.33	76.23	22	24	0	6.7	8.3	3.0
22.10.2015	1:02:38	42.72	75.48	16	13	0	6.0	8.1	3.1
25.10.2015	1:34:30	41.95	76.30	24	7	0	7.0	8.2	3.3
30.10.2015	17:43:29	41.73	75.80	18	14	0	8.7	10.0	4.2
11.11.2015	15:40:02	41.83	76.27	21	0	0	7.0	8.2	3.6
11.11.2015	23:55:58	42.42	74.83	15	11	0	6.3	8.0	3.1
13.11.2015	5:30:53	42.30	75.18	16	7	0	7.0	8.2	3.4
20.11.2015	2:09:38	43.12	76.77	18	10	4	6.3	7.2	3.1
25.11.2015	21:06:41	42.30	75.33	18	18	0	6.6	8.2	3.1
26.11.2015	15:15:33	43.13	76.78	21	16	3	6.5	7.8	3.0
29.11.2015	21:08:19	42.55	75.27	18	15	0	6.8	8.3	3.2

Таким образом, при отсутствии единообразия в определении магнитуд, классов сейсмических событий и наличии трудностей, связанных с их унификацией, при противоречивости данных, касающихся глубины залегания гипоцентров землетрясений, в окончательный вариант сводного каталога сейсмических событий авторами статьи были включены: дата, время, широта и долгота,

взятые по каталогу Института сейсмологии НАН КР; глубины гипоцентров по каждому из рассматриваемых каталогов, определения классов по каталогам Института сейсмологии НАН КР (KIS) и Научной станции РАН в Бишкеке (KNET) и магнитуда по каталогу Международного сейсмологического центра (ISC).