

УДК 550.34:621.039.9

## АНАЛИЗ МАГНИТУДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КАРАТАУ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

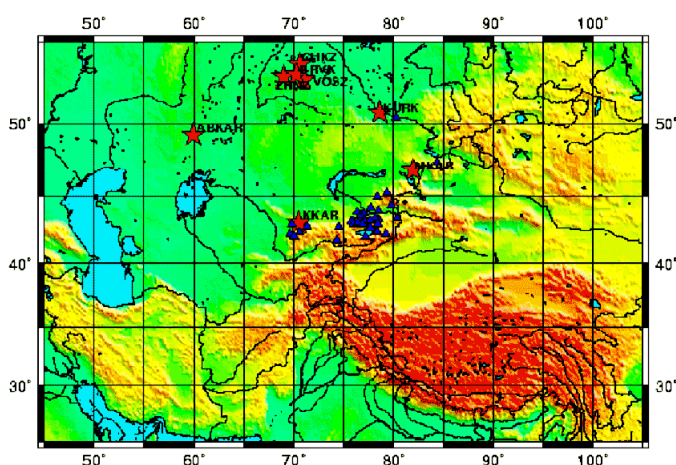
Приведены результаты оценки эффективности сейсмической группы Каратау, для чего построены и проанализированы карты минимальных магнитуд, графики дальности регистрации, графики повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами. Установлены уровни представительных магнитуд и показано, что сейсмическая группа Каратау уступает сейсмической группе PS23-Маканчи по эффективности регистрации сейсмических событий и на телесеismicких, и на региональных расстояниях. Так, для станции Каратау значение параметра  $\Delta m$ , характеризующего переход от предельных минимальных значений магнитуды событий к значениям представительной магнитуды событий, регистрируемых на данном расстоянии, превышает 1 единицу магнитуды, в отличие от значений  $\Delta m \sim (0.3 - 0.5)$  единиц магнитуды, полученных для станции PS23-Маканчи как на телесеismicких, так и на региональных расстояниях.

В [1] приведены результаты анализа чувствительности сейсмической группы PS23-Маканчи на телесеismicких и региональных расстояниях, полученные по результатам исследований в 2004 г. В 2006 г. исследования продолжены применительно к другой сейсмической группе – Каратау, в составе сети, находящейся под управлением Института геофизических исследований Национального ядерного центра РК.

Сейсмическая группа Каратау (ККАР) является относительно новой станцией. Она построена в конце 2001 г в соответствии с Соглашением от 18.11.1997 г. между Республикой Казахстан и Соединенными Штатами Америки об установке и эксплуатации в Казахстане станций сейсмического мониторинга ядерных испытаний. Данные этой станции, начиная с января 2002 г., то есть, практически с самого начала их регулярного поступления и обра-

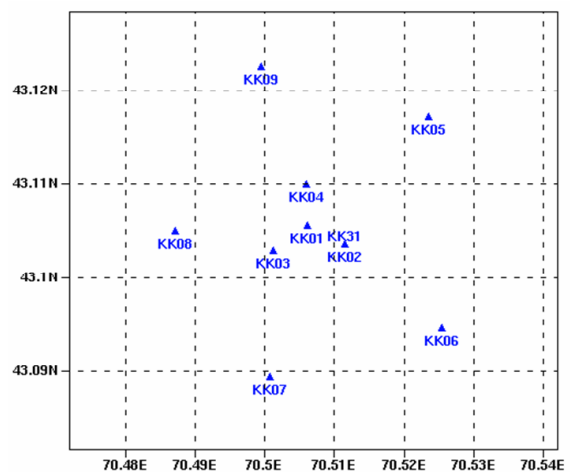
ботки в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ), используются при составлении интерактивного сейсмического бюллетеня ЦСОССИ.

Сейсмическая группа расположена в юго-западном Казахстане и имеет координаты:  $43.1034^\circ$  северной широты и  $70.5115^\circ$  восточной долготы (рисунок 1а) [2]. По конфигурации она аналогична сейсмическим группам PS23-Маканчи и Акбулак [1, 3]. В ее составе 9 однокомпонентных и один трехкомпонентный скважинные сейсмометры. Радиус внутреннего кольца, образуемого тремя однокомпонентными вертикальными сейсмометрами, составляет примерно 500 м, радиус внешнего кольца, образуемого пятью однокомпонентными вертикальными сейсмометрами, составляет примерно 2 км (рисунок 1б). Трехкомпонентный сейсмометр и один однокомпонентный сейсмометр находятся в центре группы.



а – расположение

Звездочка – станция НЯЦ РК; треугольник – станция СОМЭ МОН РК (на рисунке 1а)



б – конфигурация

Рисунок 1. Сейсмическая группа Каратау (ККАР)

При исследовании магнитудной чувствительности станции Каратау на региональных расстояниях использована магнитуда по объемным волнам  $m_{v}$ , определяемая по номограмме Михайловой Н.Н., Неверовой Н.П. [5]. Для изучения эффективности станции на телесеismicических расстояниях использованы данные бюллетеня REB (Reviewed event bulletin), составляемого в Международном центре данных (г. Вена), а на региональных расстояниях - данные сводного бюллетеня ЦСОССИ.

#### Анализ чувствительности сейсмической группы Каратау на телесеismicических расстояниях

Анализ чувствительности сейсмической группы Каратау на телесеismicических расстояниях проведен по схеме, близкой к той, что была применена для сейсмической группы PS23-Мақанчи [1]. При этом использованы данные бюллетеня REB за первые шесть месяцев 2004 г., из которого отобраны промежутки времени с устойчивым функционированием сейсмической группы Каратау. С помощью программы "dbpick, входящей в пакет программ DATASCOPE, используемый при рутинной обработке данных, произведено ассоциирование событий из бюллетеня REB с волновыми записями станции Каратау. Ассоциирование проведено только по перво-

му вступлению волны (по фазам  $P_n$ ,  $P$ ,  $PKP$ ,  $PKiKP$  и др.). После предварительного отбора вступлений выполнена дополнительная их отбраковка. Для этого с помощью программы EP (NORSAR) методом  $f-k$  анализа определены азимуты подходов всех отобранных фаз, проведено сравнение наблюдаемых азимутов с их теоретическими значениями, полученными исходя из координат событий, приведенных в бюллетене REB. При разнице между наблюдаемыми и теоретическими значениями азимутов, превышающей  $25^\circ$ , вступления отбраковывались. По этой методике для дальнейшего анализа отобрано 2 514 событий, зарегистрированных станцией Каратау за первое полугодие 2004 г., тогда как бюллетень REB за тот же период времени содержал 7711 событий.

На первом этапе исследований была проверена способность группы Каратау регистрировать события при самых благоприятных условиях. Для этого построена карта событий с минимальными магнитудами, которые смогла зарегистрировать станция Каратау (рисунок 3). Территория земного шара была разбита на ячейки, размером  $1 \times 1$  градус. Из каталога REB за исследуемый период отобраны события, зарегистрированные станцией. Далее среди сейсмических событий, попавших в каждую из ячеек, отображены события с минимальной магнитудой  $m_b$ .

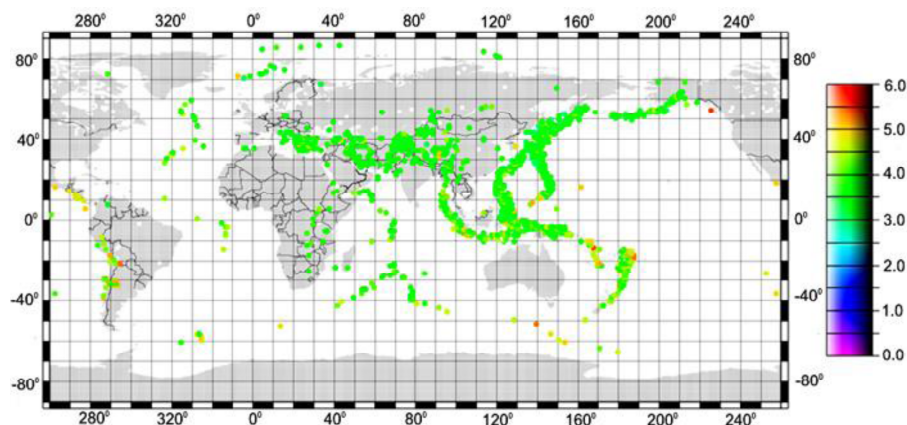


Рисунок 3. Карта минимальных магнитуд событий из REB за первую половину 2004 г., зарегистрированных станцией Каратау

Из рисунка 3 видно, что при благоприятных условиях станция Каратау может регистрировать события, произошедшие на материках Евразия и Африка, даже с магнитудой 3 – 3.5. В то же время, станция Каратау менее чувствительна к событиям, происходящим в Северной и Южной Америке. Чтобы оценить чувствительность станции Каратау к событиям в различных регионах земного шара, для каждого из 50 сейсмических регионов определено общее число событий из бюллетеня REB, а также число событий, зарегистрированных станцией. На ри-

сунке 4 дано сравнение количеств этих событий по каждому из регионов.

Статистическая информация по количеству зарегистрированных событий в каждом из 50 сейсмических регионов приведена в таблице 1.

Для большей наглядности, также как для станции PS23-Мақанчи, построена карта (рисунок 5), на которой для каждого региона показаны значения отношения числа событий из REB, в которых участвуют данные станции Каратау, к общему числу событий, помещенных в REB.

**АНАЛИЗ МАГНИТУДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
ГРУППЫ КАРАТАУ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ**

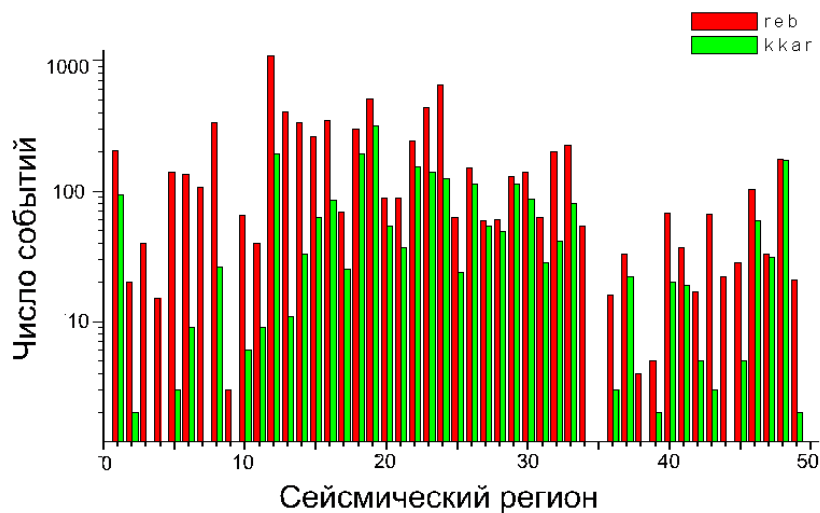
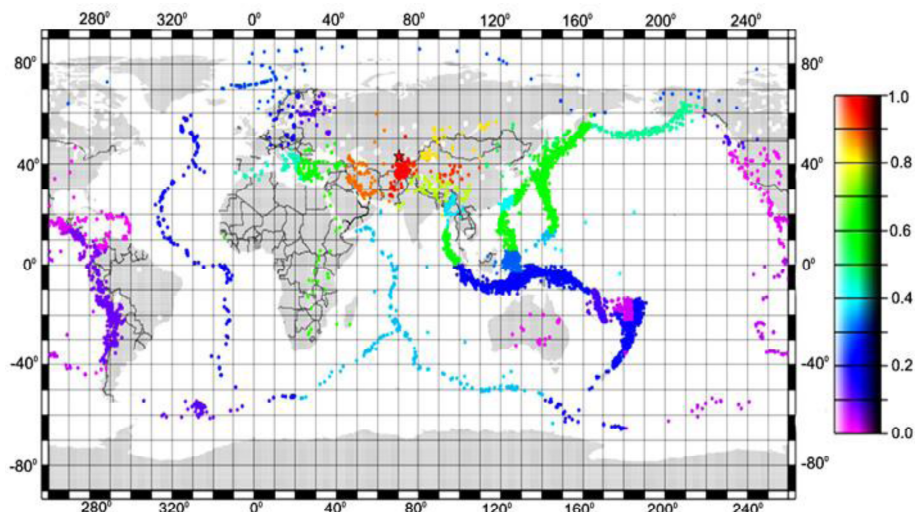


Рисунок 4. Сравнение числа событий из REB и зарегистрированных станцией Каратау (KKR) для каждого из 50 сейсмических регионов земного шара

Таблица 1. Сравнение числа событий из REB с числом событий, зарегистрированных станцией Каратау, по регионам мира. Первая половина 2004 г.

Сейсмический регион	Число событий		Представительная магнитуда		Сейсмический регион	Число событий		Представительная магнитуда	
	из REB	в т.ч. по Каратау	по REB	в т.ч. по Каратау		по REB	в т.ч. по Каратау	по REB	в т.ч. по Каратау
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	26	150	114	3.8	3.8
2	204	94	3.5	3.8	27	59	54	3.8	3.8
3	20	2	-	-	28	60	49	4.5	4.5
4	40	0	-	-	29	128	113	4.3	4.3
5	15	0	-	-	30	138	86	3.7	3.9
6	140	3	-	-	31	63	28	3.7	4
7	135	9	-	-	32	202	41	4	4.5
8	106	1	-	-	33	226	81	4	4.3
9	332	26	3.8	4.8	34	54	0	-	-
10	3	0	-	-	35	0	0	-	-
11	65	6	-	-	36	16	3	-	-
12	40	9	-	-	37	33	22	4	4.5
13	1096	193	4.4	4.8	38	4	0	-	-
14	408	11	-	-	39	5	2	-	-
15	334	33	4	5	40	68	20	3.8	4.4
16	262	63	3.8	4.5	41	37	19	3.8	4.2
17	349	85	4	4.5	42	17	5	-	-
18	69	25	3.8	4.2	43	67	3	-	-
19	298	194	4	4	44	22	1	-	-
20	509	318	3.7	3.9	45	28	5	-	-
21	88	54	3.7	3.9	46	103	59	3.8	4.2
22	89	37	4	4.2	47	33	31	3.7	3.7
23	244	154	4	4	48	176	172	3.7	3.7
24	437	138	3.8	4	49	21	2	-	-
25	655	125	3.8	4.5	50	0	0	-	-

**АНАЛИЗ МАГНИТУДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
ГРУППЫ КАРАТАУ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ**

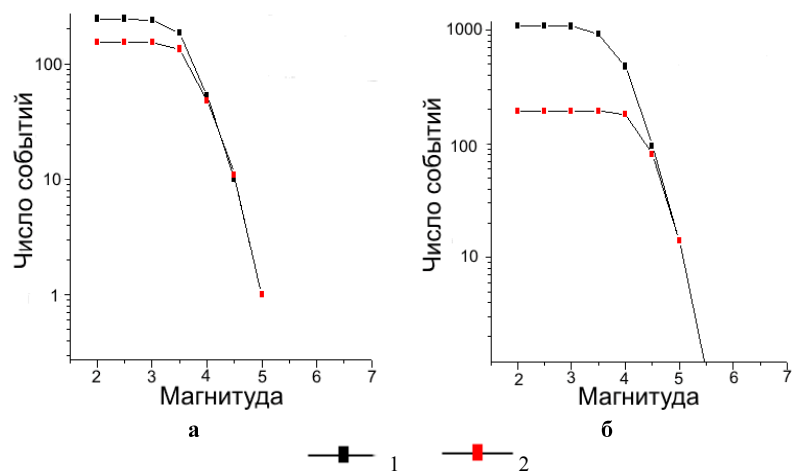


*Рисунок 5. Карта значений отношения событий из каталога REB, зарегистрированных станцией Каратау, к общему числу событий из REB в данном сейсмическом регионе*

Из рисунка 5 видно, что станция Каратау эффективно обнаруживает только события, происходящие в ее окрестностях (значение отношения близко к единице - красный цвет). Уже на расстояниях 30 – 40°, станция регистрирует только половину событий, вошедших в бюллетень REB (значение отношения до 0.5 – зеленый цвет), а на более далеких расстояниях ее чувствительность падает еще больше (значение отношения до 0.1 – 0,3 - синий и фиолетовый цвет).

На втором этапе исследований проведено определение магнитуды события для данного региона,

при которой события регистрируются предельно, без пропусков. Для этого построены кумулятивные графики повторяемости событий для каждого из тех сейсмических регионов, по которым было найдено более 20 событий, зарегистрированных станцией Каратау. Такое ограничение было введено для обеспечения статистически значимого количества событий. На рисунке 6 в качестве примера приведены кумулятивные графики повторяемости событий для двух сейсмических регионов – № 22 (Филиппины) и № 12 (острова Тонго).



1 - число событий из REB; 2 - число событий, зарегистрированных станцией Каратау

*Рисунок 6. Кумулятивные графики повторяемости событий за первую половину 2004 г. для двух сейсмических регионов на телесеизмических расстояниях: а – 22-го (Филиппины); б – 12-го (острова Тонго)*

Графики позволили определить представительные магнитуды для бюллетеня REB и для станции Каратау по каждому сейсмическому региону. Поскольку для станции Каратау магнитуды определялись по событиям, вошедшим в REB, они не могут быть меньше представительных магнитуд бюллетеня

REB. Из этого следует, что, если для какого-либо региона представительные магнитуды для REB и для станции Каратау совпадают, то это означает, что представительная магнитуда событий для станции Каратау по этому региону, равна или меньше, чем для REB. В столбцах 4 - 5, 9 - 10 таблицы 1 приведе-



ны значения представительной магнитуды, полученные по графикам повторяемости для REB и для станции Каратау. Из таблицы можно видеть, что представительные магнитуды по REB и по станции Каратау совпадают всего лишь для 8 регионов из 50, тогда как для станции PS23-Маканчи [1] уровни представительной магнитуды совпадают по 27 сейсмическим регионам. Это свидетельствует о том, что станция Каратау проявляет относительно невысокую чувствительность при регистрации событий на телесеismicких расстояниях по сравнению со станцией PS23-Маканчи.

#### АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КАРАТАУ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ

Для определения магнитудной чувствительности станции Каратау на региональных расстояниях использованы данные сводного бюллетеня ЦСОССИ за 2004 – 2005 гг., согласно которому за этот период станция зарегистрировала 8435 событий. Это наибольшее количество сейсмических событий за анализируемый период по сравнению с остальными станциями сети НЯЦ РК, что является следствием расположения станции Каратау в высокоактивном в сейсмическом отношении районе.

Для оценки возможностей группы Каратау при регистрации сейсмических событий на региональных расстояниях построена карта минимальных магнитуд, приведенная на рисунке 7. Способ построения карты аналогичен вышеописанному для телесеismicких данных, но исследуемая территория была разбита на ячейки, размером  $0.5 \times 0.5$  градуса. В каждой ячейке путем перебора выбраны землетрясения из сводного

бюллетеня ЦСОССИ (2004 – 2005 гг.), в которых участвовали данные станции Каратау.

Как и в [1], наиболее низкие магнитуды наблюдаются в непосредственной близости от станции. По мере удаления от нее уровень минимальных магнитуд зарегистрированных землетрясений растет. На границах исследуемого региона уровень минимальных регистрируемых магнитуд увеличивается вплоть до 4 единиц магнитуд. Обращает на себя внимание то, что на построенной карте практически отсутствуют события северо-западной и западной части Казахстана, т.е. станция Каратау является малочувствительной к событиям из данного региона.

По рисунку 7 можно судить также о предельной возможности станции регистрировать сейсмические события, (то есть, о регистрации событий в самых благоприятных условиях).

Для более полного представления о возможностях станции необходимо иметь информацию не только о предельных магнитудах сейсмических событий, но и определить уровень магнитуд событий, регистрируемых станцией без пропусков, т.е. уровень представительной магнитуды для данной станции на данном расстоянии. При решении этой задачи весь район вокруг станции был разбит на концентрические зоны (рисунок 8), для каждой из которых составлены выборки сейсмических событий. При этом в выборку входили события, удовлетворяющие следующим условиям: 1 - событие включено в бюллетень ЦСОССИ за 2004 – 2005 гг. и одновременно зарегистрировано станцией Каратау; 2 - событие располагалось в одной из 9 зон вокруг станции Каратау: первой – на расстоянии 0 – 1 градуса, второй – на расстоянии 1 – 2 градуса и т.д.

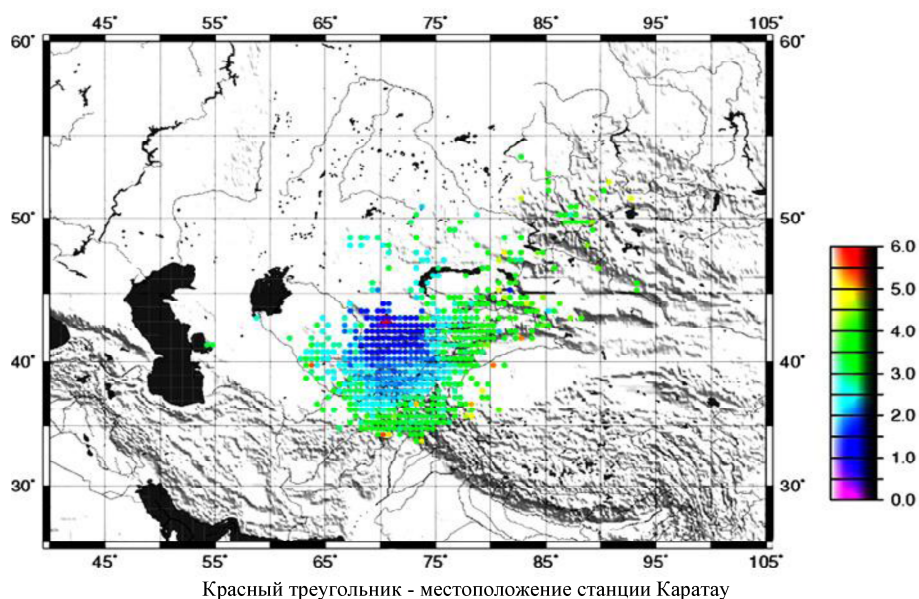


Рисунок 7. Карта минимальных магнитуд сейсмических событий, зарегистрированных станцией Каратау по данным сводного сейсмического бюллетеня ЦСОССИ за 2004 - 2005 гг.

**АНАЛИЗ МАГНИТУДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
ГРУППЫ КАРАТАУ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ**

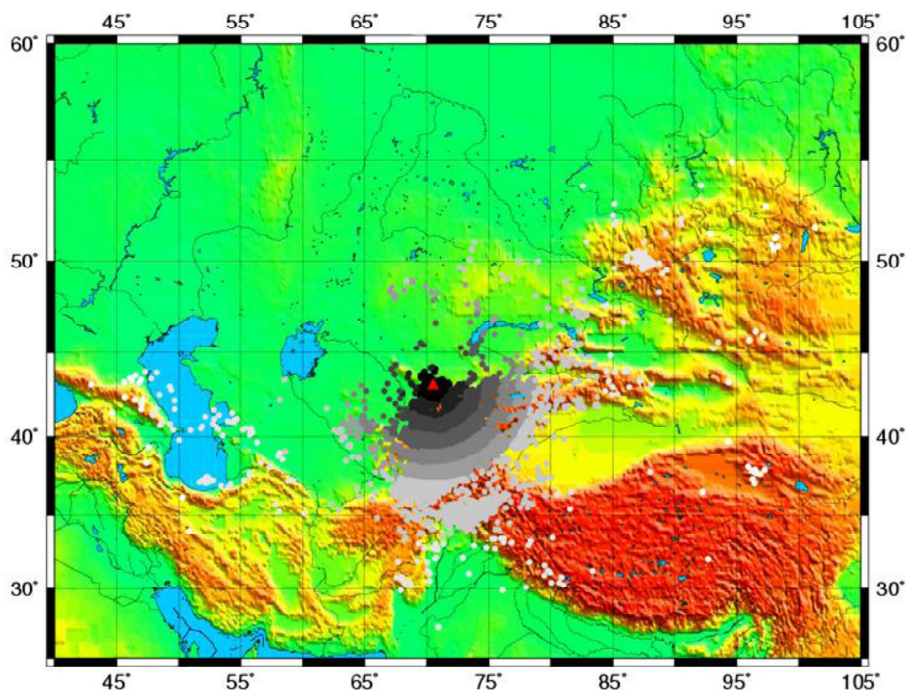


Рисунок 8. Концентрические зоны вокруг станции Каратау, из которых отбирались события для определения уровня представительной магнитуды

В таблице 2 приведены расстояния от станции Каратау по каждой зоне, а также количество отобранных событий (столбцы 3, 8), попавших в соответствующую зону (от 44 до 2276).

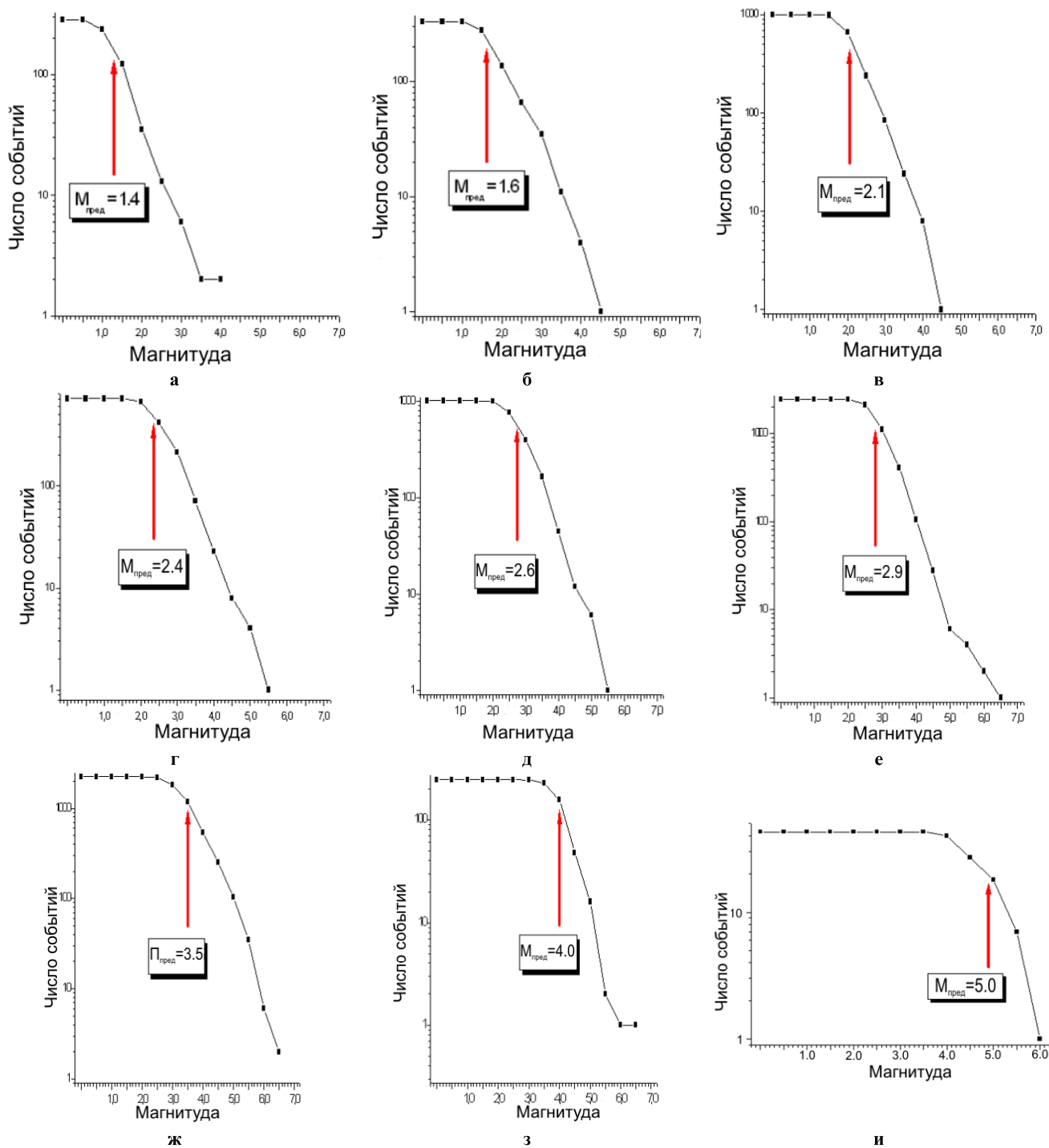
Для каждой из девяти зон построены кумулятивные графики повторяемости, по которым определен уровень представительной магнитуды для каждой из зон. Графики повторяемости событий для каждой зоны, наряду со значениями полученного на их основе уровня представительной магнитуды, приведены на рисунке 9.

Результаты определения значений уровня представительной магнитуды приведены в столбцах 4 и 9 таблицы 2. Практически для всех региональных расстояний для станции Каратау получены более высокие по сравнению со станцией PS23-Маканчи (столбцы 5, 10 таблицы 2 [1]) уровни представительной магнитуды, что говорит о более низкой чувствительности станции Каратау по сравнению со станцией PS23-Маканчи на региональных расстояниях.

Таблица 2. Сведения о представительной магнитуде регистрируемых событий на региональных расстояниях

№ зоны	Расстояние (градусы)	Кол-во событий	Представительная магнитуда		№ зоны	Расстояние (градусы)	Кол-во событий	Представительная магнитуда	
			Каратау	PS23-Маканчи				Каратау	PS23-Маканчи
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0 – 1	341	1.4	1.0	6	5 – 6	2458	2.9	2.5
2	1 – 2	332	1.6	1.5	7	6 – 10	2276	3.5	3
3	2 – 3	1007	2.1	1.7	8	10 – 17	249	4	3.8
4	3 – 4	714	2.4	2.0	9	17 – 25	44	5	-
5	4 – 5	1014	2.6	2.3	--	--	--	--	--

**АНАЛИЗ МАГНИТУДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
ГРУППЫ КАРАТАУ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ**



Красной стрелкой указан уровень представительной магнитуды

*Рисунок 9. Станция Каратау. Кумулятивные графики повторяемости события, построенные для окружающих зон с радиусами (град): а – (0 – 1); б – (1 – 2); в – (2 – 3); г – (3 – 4); д – (4 – 5); е – (5 – 6); ж – (6 – 10); з – (10 – 17); и – (17 – 25)*

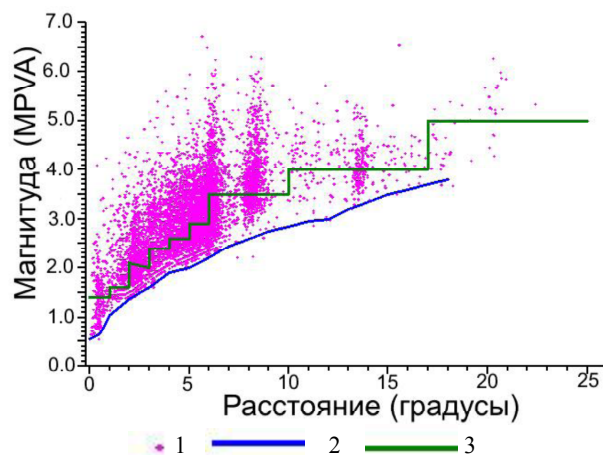
На рисунке 10 приведен сводный график зависимости магнитуды зарегистрированных событий от расстояний построенный для выяснения того, насколько представительная магнитуда превышает уровень минимальной магнитуды для станции Каратау, по сводному бюллетеню ЦСОССИ.

Сопоставление уровней минимальной и представительной магнитуды для станции Каратау выявило отличие с результатами для станции PS23-Маканчи. Для станции Каратау наблюдается значительная (1 единица магнитуды и более) разница между уровнем представительной магнитуды и уровнем минимальной магнитуды, тогда как для станции PS23-

Маканчи эта разница на расстояниях до 1000 км составляла 0.3 – 0.5 единиц магнитуды.

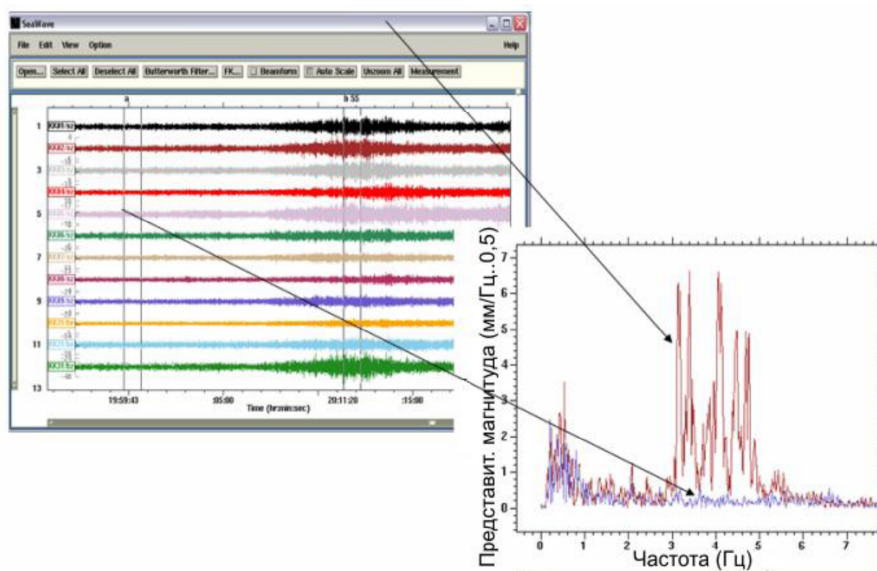
Данное расхождение может быть объяснено следующим образом. При обработке сейсмических данных, полученных станцией Каратау, замечено периодическое возникновение сильного шумового сигнала, который, по всей вероятности, носит несейсмический характер. На рисунке 11 приведен пример такого сигнала, а также его спектр Фурье.

При отсутствии таких помех станция Каратау демонстрирует неплохую чувствительность и может регистрировать относительно слабые события. Но при наличии подобного рода помех, чувствительность станции резко ухудшается. Из-за этих помех наблюдаются пропуски в регистрации относительно слабых событий, что и приводит к повышению уровня представительной магнитуды.



1 — событие из сводного бюллетеня ЦСОССИ; 2 — огибающая уровня минимальной магнитуды; 3 — представительная магнитуда

Рисунок 10. График предельной и представительной дальности регистрации сейсмических событий станцией Каратау



Слева - вид помехи на сейсмической записи; справа - сравнение спектра Фурье записи, свободной от помехи (синий цвет) и спектра помехи (коричневый цвет)

Рисунок 11. Станция Каратау. Пример регистрируемых помех

### Выводы

Для оценки эффективности сейсмической группы Каратау проведен ряд процедур: построены карты минимальных магнитуд, графики дальности регистрации, графики повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами. На их основе установлены уровни представительных магнитуд для телесеизмических и региональных расстояний. Установлено, что для станции Каратау значения параметра  $\Delta m$ , характеризующие переход от предель-

ных минимальных значений магнитуд событий, регистрируемых на данном расстоянии, к представительным магнитудам регистрируемых событий превышают 1 единицу магнитуды, что отличается от значений, полученных для станции PS23-Маканчи (0.3 – 0.5 единиц магнитуды). По полученным данным сделан вывод, что сейсмическая группа Каратау уступает в эффективности регистрации сейсмических событий группе PS23-Маканчи как на телесеизмических, так и на региональных расстояниях.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Оценка эффективности сейсмической группы PS-23 Маканчи при регистрации региональных и телесейсмических событий / Н.Н. Михайлова Н.Н., З.И. Синёва // Вестник НЯЦ РК: Геофизика и проблемы нераспространения., 2004. – Вып 2(18). – С. 104 – 110.
2. Марченко, В.Г. Новая сейсмическая группа «Каратау» в Казахстане / В.Г. Марченко, А.И. Неделков, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2. – С. 9 – 13.
3. Тейнор, Л. Новая сейсмическая группа Акбулак: выбор места размещения, аппаратура, система коммуникаций. Геофизика и проблемы нераспространения / Л.Тейнор [и др.] / Вестник НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2 (18). – С. 5 - 12.
4. Михайлова, Н.Н. Калибровочная функция  $\delta(\Delta)$  для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня. Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне / Михайлова, Н.П. Неверова // Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 38 – 44.

### ҚАРАТАУ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ АУМАҚТЫҚ ЖӘНЕ ТЕЛЕСЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАШЫҚТЫҚТАРЫНДА МАГНИТУДАЛЫҚ СЕЗГІШТІГІН ТАЛДАУ

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Қаратау сейсмикалық тобының тиімділігін бағалау нәтижелері келтірілген, ол үшін минималь магнитудалар картасы, тіркеу қашықтығының кестелері, әр магнитудасы бар сейсмикалық оқиғалардың қайталану кестелері жасалып талданылған. Өкілдік магнитудалар деңгейлері анықталған және Қаратау сейсмикалық тобы телесейсмикалық және аумақтық қашықтықтарында сейсмикалық оқиғаларын тіркеу тиімділігі бойынша PS23-Мақаншы сейсмикалық тобынан төмен болуы көрсетілген. Қаратау станциясы үшін оқиғалардың магнитудасының шекті минималь мәнінен оқиғалардың өкілдік магнитудасының мәндеріне өтуін сипаттайтын параметрі  $\Delta m$  магнитуданың 1 бірлігінен асады, ал PS23-Мақаншы станциясы үшін  $\Delta m \sim (0.3 - 0.5)$  магнитуданың бірлігі.

### ANALYSIS OF THE MAGNITUDE SENSITIVITY FOR KARATAU SEISMIC ARRAY AT REGIONAL AND TELESEISMIC DISTANCES

Z.I. Sinyova, N.N. Mikhailova

*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

This paper presents efficiency assessment results of Karatau seismic array for this purpose minimal magnitude maps, graphs of distant recording, recurrence graphs of seismic events with various magnitudes were plotted and analyzed. Representative magnitude levels were determined and it was showed that Karatau seismic array gave way to PS23-Makanchi in terms of seismic events recording efficiency both at teleseismic and regional distances. For Karatau station parameter value that stands for transition from utmost minimal magnitude values of an event to values of representative magnitude, which are recorded at this distance,  $\Delta m$  increases 1 magnitude unit, in contrast to  $\Delta m$  value  $\sim (0.3 - 0.5)$  magnitude units for PS23-Makanchi.