

УДК 550.34:621.039.9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Михайлова Н.Н., Синёва З.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для оценки эффективности сейсмической группы PS23-Мақанчи при регистрации близких и удаленных событий применен ряд подходов: построение карт минимальных магнитуд m_b , графиков дальности регистрации, графиков повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами. На этой основе установлены уровни представительных магнитуд как для телесеизмических, так и для региональных расстояний, которые свидетельствуют, что сейсмическая группа PS23-Мақанчи является весьма эффективной. Установлено, что различным диапазонам расстояний соответствуют различные значения Δm_b , характеризующие переход от предельных минимальных значений магнитуд событий, регистрируемых на данном расстоянии, к магнитудам представительно регистрируемых событий. Выявлены азимутальные различия в чувствительности станции по отношению к событиям из разных зон на одном и том же расстоянии. Это может быть связано как с характеристиками среды вдоль трассы наблюдения, так и с особенностями конфигурации сети в целом.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть станций сейсмической сети НЯЦ РК представлена сейсмическими группами. Одной из таких групп является первичная станция Международной системы мониторинга PS23-Мақанчи. Использование сейсмических групп имеет свою специфику. В традиционной сейсмологии, имеющей дело с 3-х компонентными станциями, для того чтобы более или менее уверенно определить координаты сейсмического события, необходимо, чтобы оно было зарегистрировано, как минимум, тремя станциями. С помощью сейсмических групп координаты события могут быть определены, если событие было зарегистрировано всего лишь одной группой. Таким образом, создание даже одной сейсмической группы позволяет резко повысить эффективность регистрации сейсмических событий во всем регионе.

Сейсмическая группа PS23-Мақанчи по своей конфигурации относится к разряду так называемых регионально-телесеизмических групп. Ее апертура составляет 4 км, что является промежуточным значением между региональными группами (апертура которых составляет 1–2 км) и телесеизмическими группами (апертура которых может измеряться несколькими десятками километров). Насколько эффективной является сейсмическая группа PS23-Мақанчи. при регист-

рации близких и удаленных событий? Ответу на этот вопрос посвящена данная статья.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ В ОТНОШЕНИИ К ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИМ СОБЫТИЯМ

Станция PS23-Мақанчи построена в 2000 г. Ее данные стали использоваться Международным центром данных в Вене (МЦД) при составлении бюллетеня REB (Reviewed Event Bulletin), начиная с февраля 2002 г. Уже с первых недель выяснилось, что PS23-Мақанчи – одна из самых чувствительных групп в мире, поскольку, согласно отчетам МЦД, PS23-Мақанчи регулярно была в первой тройке сейсмических групп как по общему числу проассоциированных фаз, так и по числу сейсмических фаз, участвующих в локализации событий. На рисунке 1 приведена карта минимальных магнитуд событий из REB, в которых участвовали данные по Р-волне станции PS23-Мақанчи. Карта построена следующим образом. Территория земного шара разбита на квадраты, размером 1×1 градус. Из каталога REB за первую половину 2002 г. отобраны события, в которых участвовала Р волна, зарегистрированная станцией PS23-Мақанчи.

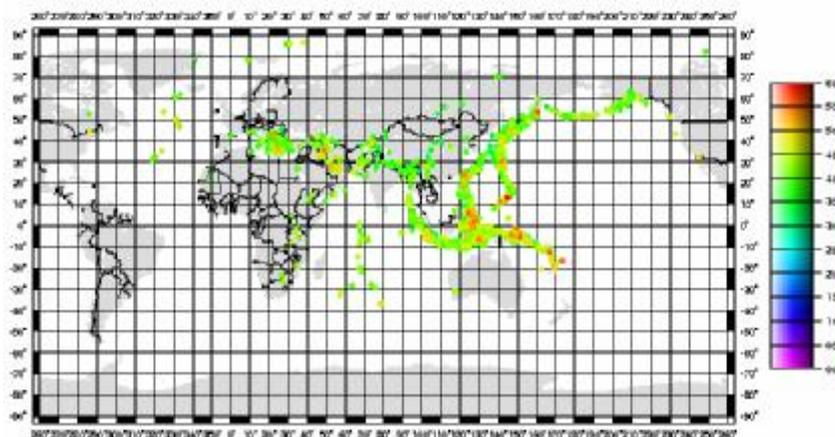


Рисунок 1. Карта минимальных магнитуд событий из REB за первую половину 2002 г, в которых участвовала Р волна, зарегистрированная станцией PS23-Мақанчи

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Далее, среди сейсмических событий, попавших в каждый из квадратов, отобраны события с минимальной магнитудой m_b . Как видно из рисунка 1, станция PS23-Мақанчи действительно является весьма чувствительной - она регистрирует события с магнитудой 3.5 – 4, происходящие на значительном удалении от нее для многих районов земного шара.

Вклад станции PS23-Мақанчи в составление бюллетеня REB может быть оценен и другим способом. На рисунке 2 для каждого из 50 сейсмических регионов земного шара графически сравнивается общее число событий, включенных в REB, с числом событий, в которых учтены данные станции PS23-Мақанчи.

Эти же данные приведены в нижеследующей таблице 1.

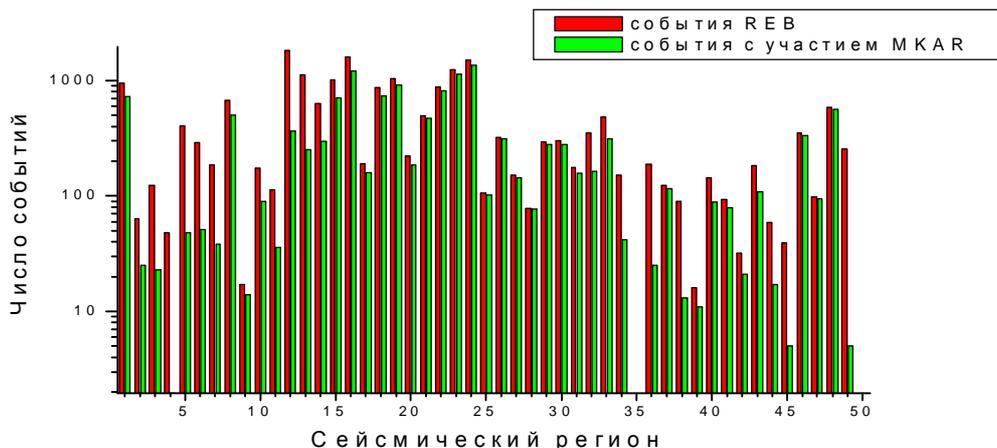


Рисунок 2. Сравнение числа событий из REB для каждого из 50 сейсмических регионов земного шара: общего и, в том числе, зарегистрированных станцией PS23-Мақанчи

Таблица 1. Сравнение числа событий в REB с числом событий, в которых участвовала станция PS23-Мақанчи, за первую половину 2002 г. по регионам мира

Сейсмический регион	Число событий		Представительная магнитуда	
	из REB	в т.ч. с участием PS23-Мақанчи	по REB	по PS23-Мақанчи
1	951	719	4	4.5
2	63	25	4.5	4.5
3	123	23	3.5	5
4	48	1	3.5	5.5
5	403	48	4.5	5.5
6	289	51	4.5	5
7	185	38	4	5
8	670	502	4	4
9	17	14	4.5	4.5
10	174	90	4	5
11	112	36	4	5.5
12	1815	366	4	5
13	1115	253	4	5
14	633	298	4	4.5
15	1012	702	4	4
16	1593	1207	4	4
17	190	159	4	4
18	871	733	3.5	3.5
19	1043	914	3.5	3.5
20	221	185	3.5	3.5
21	496	469	4	4
22	872	815	4	4
23	1233	1129	4	4
24	1492	1361	4	4
25	106	102	4	4
26	322	310	4	4
27	152	144	4	4
28	78	77	4	4
29	292	279	4	4
30	299	278	4	4
31	177	158	4	4
32	351	163	4.5	5
33	485	316	4	5
34	152	42	4	5.5
35	0	0	-	-
36	188	25	4	4.5
37	123	115	4	4
38	90	13	4	4.5

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Сейсмический регион	Число событий		Представительная магнитуда	
	из REB	в т.ч. с участием PS23-Макаанчи	по REB	по PS23-Макаанчи
39	16	11	4.5	4.5
40	143	89	4	4
41	93	79	4	4
42	32	21	4	4.5
43	183	109	4.5	4.5
44	59	17	4	5
45	39	5	4	5
46	352	331	4	4
47	98	94	4	4
48	586	563	4	4
49	255	5	3	4.5
50	-	-	-	-

Как следует из таблицы 1, по 35-ому и в 50-ому сейсмическим регионам земного шара в каталоге REB за 2002 г не было зарегистрировано ни одного события. В остальных 48 регионах события зарегистрированы, и в каждом из них - с участием станции PS23-Макаанчи.

Для большей наглядности приведенных данных, построена карта (рисунок 3), на которой отражены значения отношения числа событий из REB, в которых участвуют данные станции PS23-Макаанчи, к общему числу событий, помещенных в REB для данного региона. При значении отношения, близком к единице (красный цвет), практически во всех событиях REB для данного региона участвуют сейсмические фазы, зарегистрированные станцией PS23-Макаанчи. При значениях параметра до 0.2 – 0,3 (си-

ний или фиолетовый цвет) данные станции PS23-Макаанчи участвуют в малом числе событий из REB.

Информация о минимальных магнитудах событий из того или иного региона земного шара, зарегистрированных на станции, позволяет судить о ее чувствительности. Однако, чтобы определить события какой магнитуды для данного региона регистрируются достоверно, без пропусков, необходим другой, оценочный подход. В частности, на основе данных из REB за 2002 г. построены кумулятивные графики повторяемости событий для каждого из 48 сейсмических регионов. На рисунке 4 в качестве примера приведены кумулятивные графики повторяемости событий для двух сейсмических регионов – второго (восточная Аляска) и двадцать первого (остров Тайвань).

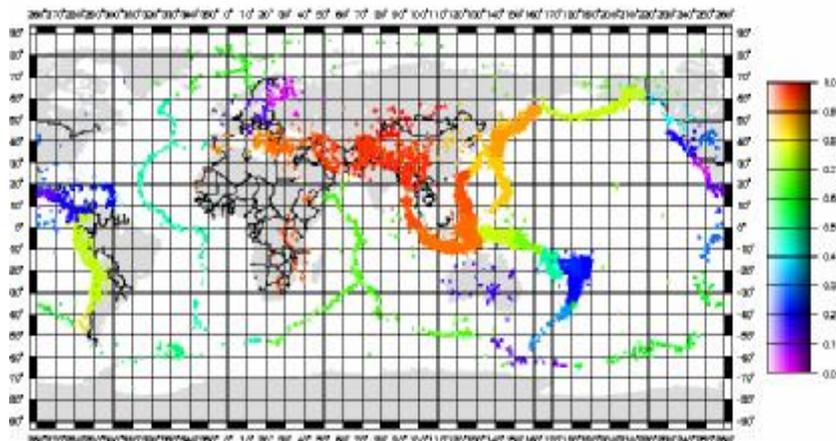
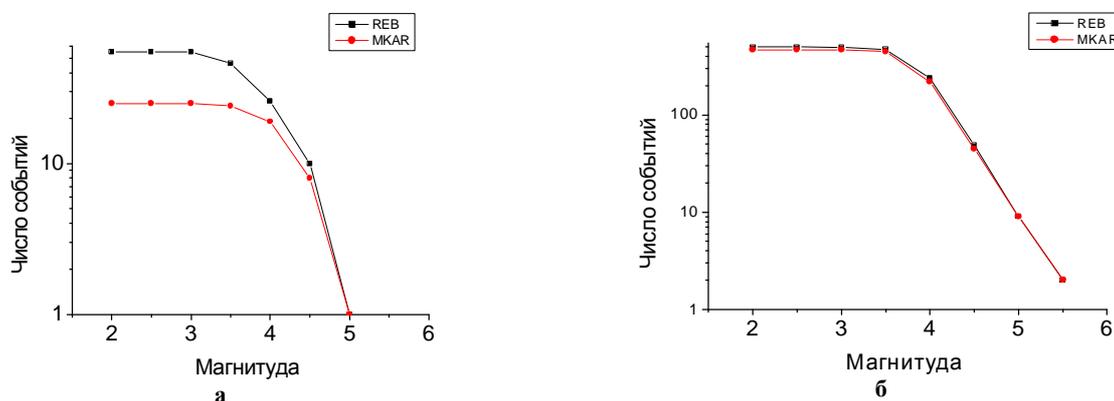


Рисунок 3. Карта значений отношения событий из каталога REB, в которых использованы данные станции PS23-Макаанчи, к общему числу событий из REB по району



Цвета: черный - общее число событий из REB; красный – в том числе, число событий, зарегистрированных станцией PS23-Макаанчи

Рисунок 4. Графики повторяемости событий за 2003 г. для двух сейсмических регионов: а -2-го (восточная Аляска); б - 21-го (остров Тайвань)

Графики позволили по каждому сейсмическому региону определить представительные магнитуды отдельно для бюллетеня REB и для станции PS23-Мақанчи. Поскольку для станции PS23-Мақанчи 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 PS23-Мақанчи совпадают, то это означает, что представительная магнитуда событий для станции PS23-Мақанчи по этому региону, равна или меньше, чем для REB. В 4 и 5 графах таблицы 1 приведены значения представительной магнитуды, полученные на основе графиков повторяемости для REB и для станции PS23-Мақанчи. Видно, что представительная магнитуда составляет 5 и выше только для 14 регионов из 48. Для 27 регионов представительная магнитуда REB и станции PS23-Мақанчи совпадают. Эти данные свидетельствуют о достаточно высокой чувствительности станции PS23-Мақанчи при регистрации телесеизмических событий. Бюллетень REB Международного центра данных формируется на базе данных более чем 30 первичных станций и нескольких десятков вспомогательных, и видно, что для 27 регионов из 50 (то есть, более, чем для половины из них) уровень представительной магнитуды станции PS23-Мақанчи и бюллетеня REB совпадают.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ В ОТНОШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

Эффективность сейсмической группы PS23-Мақанчи в отношении к региональным событиям изучалась на основе оперативного сейсмологического бюллетеня, составляемого в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ) ИГИ НЯЦ РК (www.kndc.kz). Использовались данные мониторинга за 2003 г. Участие данных сейсмической группы PS23-Мақанчи в локализации событий данного бюллетеня является довольно значительным. Так, например, оперативный бюллетень ЦСОССИ за 2003 г. содержит 10658 событий и в 4879 из них, т.е., примерно в половине событий, использованы данные станции PS23-Мақанчи.

Для оценки возможностей группы PS23-Мақанчи в регистрации сейсмических событий на региональных расстояниях построена карта минимальных магнитуд, приведенная на рисунке 5. Карта построена способом, аналогичным тому, который описан в отношении телесеизмических данных. В данном случае, исследуемая территория разбита на квадраты, размером 0.5 на 0.5 градуса. В каждом квадрате путем перебора выбраны землетрясения из оперативного бюллетеня ЦСОССИ за 2003 г., в которых участвовали данные станции PS23-Мақанчи общим числом 4879.

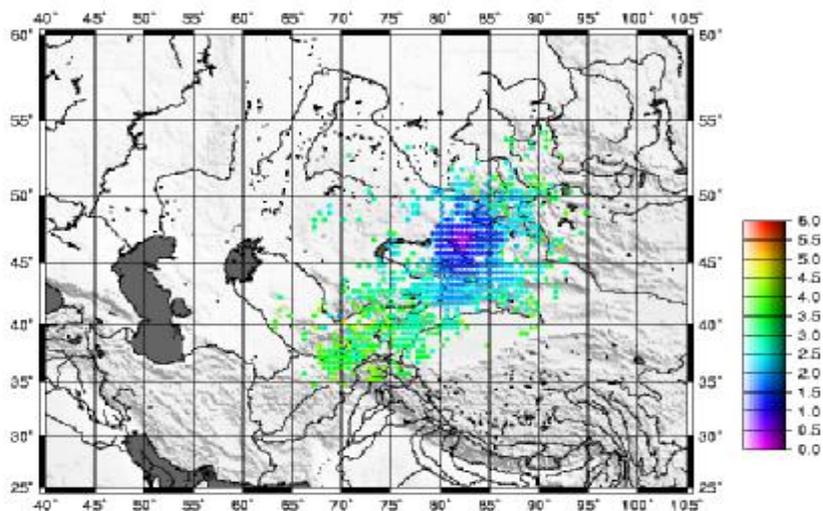


Рисунок 5. Карта минимальных магнитуд сейсмических событий, зарегистрированных станцией PS23-Мақанчи по данным оперативного бюллетеня ЦСОССИ за 2003 г

Как и следовало ожидать, наиболее низкие магнитуды наблюдаются в непосредственной близости от станции. По мере удаления от нее уровень минимальных магнитуд зарегистрированных землетрясений повышается. Однако, во всем исследуемом регионе Центральной Азии он не превышает 3,5. Несмотря на то, что карты, подобные приведенной на рисунке 5, позволяют получить представление о чувствительности станции, для более полного представления о магнитудах событий, регистрируемых без пропуска, так же, как и в случае телесеизмических данных, этого недостаточно. Представляет интерес количественная оценка уровня не минимальной, а представительной магнитуды. С этой целью построены кумулятивные графики повторяемости по сейсмическим событиям, зарегистрированным

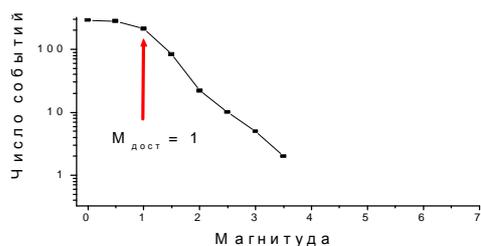
станцией PS23-Мақанчи и включенным в оперативный бюллетень ЦСОССИ. Области, для которых анализировались сейсмические события, количество событий в каждой из них, выявленная представительная магнитуда приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, наибольшее число событий зарегистрировано на расстоянии 4 – 5 град., что объясняется огромным количеством афтершоков сильного Алтайского землетрясения, произошедшего в этом регионе 27 сентября 2003 г. В других областях число событий колеблется от 211 до 575. На рисунке 6 приведены графики повторяемости событий, построенные для различных областей вокруг станции PS23—Мақанчи, по которым определена достоверная магнитуда.

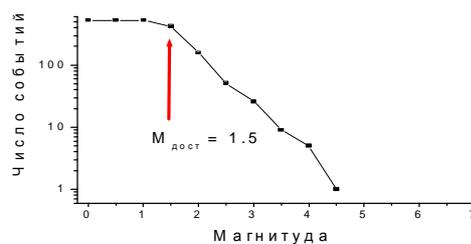
**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Таблица 2. Сведения о представительной магнитуде регистрируемых событий на региональных расстояниях. Станция PS23-Мақанчи

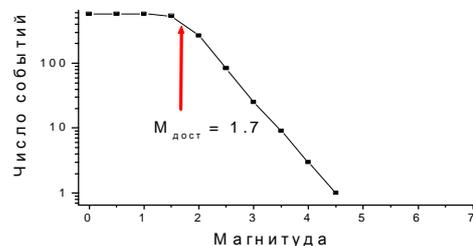
№№	Расстояние, град	Количество событий	Достоверная магнитуда
1	0 -1	320	1
2	1 -2	533	1.5
3	2 -3	575	1.7
4	3 -4	430	2
5	4 -5	1757	2.3 (бд)
6	5 -6	211	2.5
7	6 -10	568	3 (бЖ)
8	10-17	476	3.8 (бз)



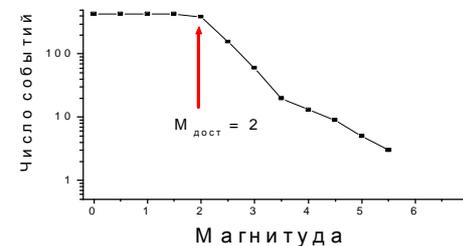
а) расстояние 0 – 1 градуса



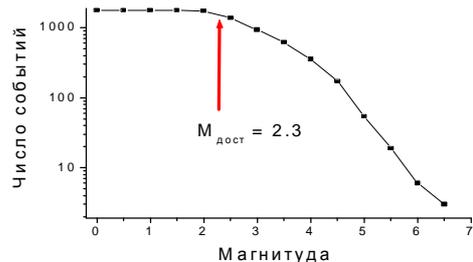
б) расстояние 1 – 2 градуса



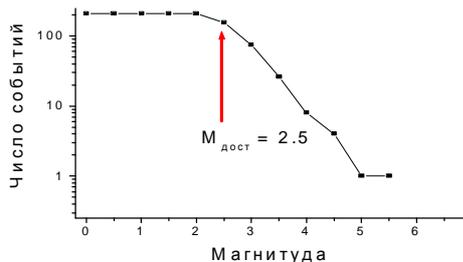
в) расстояние 2 – 3 градуса



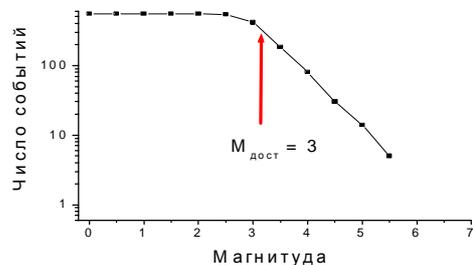
г) расстояние 3 – 4 градуса



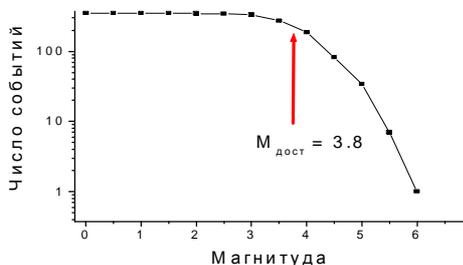
д) расстояние 4 – 5 градуса



е) расстояние 5 – 6 градусов



ж) расстояние 6 – 10 градусов



з) расстояние 10 – 17 градусов

Красная стрелка - значение представительной магнитуды

Рисунок 6. Графики повторяемости, построенные для различных областей вокруг станции PS23--Мақанчи

Уже из определения термина «представительная магнитуда» следует, что она не может быть ниже минимальной регистрируемой магнитуды. Чтобы установить, насколько для станции PS23-Мақанчи представительная магнитуда превышает уровень минимальной магнитуды, построен сводный график

зависимости магнитуды зарегистрированных событий от расстояний по данным оперативного бюллетеня ЦСОСЦИ (рисунок 7). На рисунке 7 ось абсцисс - расстояние от события до станции PS23-Мақанчи, ось ординат - магнитуда события, сплошная линия – уровень представительной магнитуды,

определенный в соответствии с графиками повторяемости (рисунок 6).

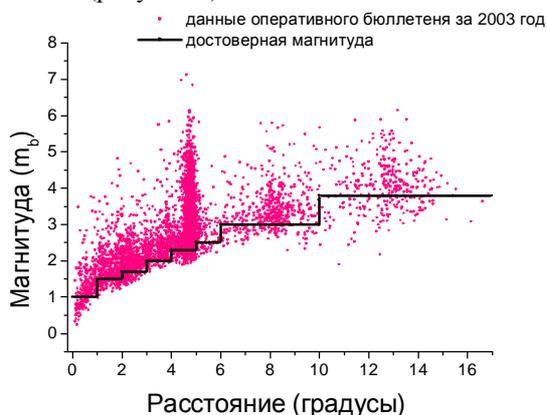


Рисунок 7. График дальности регистрации событий станцией PS23-Мақанчи

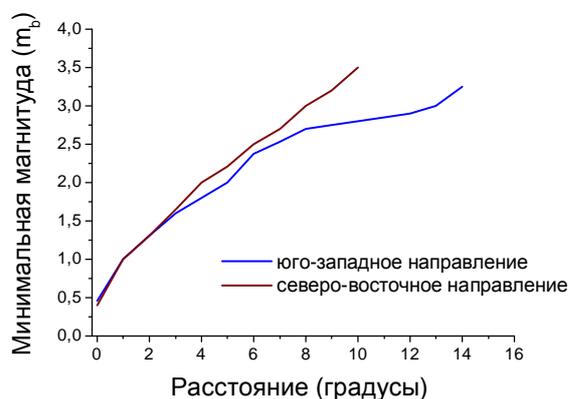


Рисунок 8. График азимутальных различий в чувствительности станции PS23-Мақанчи

Видно, что в среднем уровень представительной магнитуды превышает уровень минимальных магнитуд примерно на 0.5 единицы магнитуды, и только на больших расстояниях, более 10 градусов, наблюдается большой разброс в уровнях минимальных регистрируемых магнитуд. Разница между достоверной и минимальной магнитудой здесь превышает 1 единицу магнитуды.

Изучены азимутальные различия в чувствительности станции PS23-Мақанчи. Для этого все события, зарегистрированные станцией в 2003 г, разделены на две группы. В одну группу вошли события, произошедшие в северо-восточном направлении от станции PS23-Мақанчи – события с азимутом подхода от 0 до 60 градусов. Таких событий в 2003 г. зарегистрировано 1385. Во вторую группу вошли события, произошедшие в юго-западном направлении от станции PS23-Мақанчи – события с азимутом подхода от 180 до 240 градусов. В эту группу вошло 1875 событий. Для каждой из групп построены графики зависимости магнитуды зарегистрированных событий от расстояния до станции PS23-Мақанчи и проведены опи-

бающие по минимальным значениям магнитуд - рисунок 8. Из рисунка 8 можно видеть, что с удалением от станции, разница в чувствительности станции к событиям, произошедшим в разных направлениях, растет. Так, например, на расстоянии 10 градусов разница в уровне минимальных магнитуд достигает 0.9 единиц магнитуды (магнитуда 3.5 для событий из северо-восточного направления по сравнению с магнитудой 2.6 для событий из юго-западного направления). Такое различие в уровнях минимальных регистрируемых магнитуд может иметь двоякое объяснение. Во-первых, различие может быть вызвано разными характеристиками геологической среды вдоль трасс распространения сейсмических волн. Во-вторых, различие может быть связано с конфигурацией сейсмической сети НЯЦ РК. Дело в том, что как раз в юго-западном направлении от станции PS23-Мақанчи расположена станция Каратау. Наличие второй станции в этом районе позволяет оператору-аналитику более уверенно локализовывать события, даже в том случае, когда вторичные волны по станции Мақанчи не очень четко видны. В то же время, чтобы провести локализацию события, произошедшего в северо-восточном направлении, оператору-аналитику необходимо наличие, как четкого вступления продольных волн, так и ясно видимых вторичных волн (Lg или Sn).

Выводы

Для оценки эффективности сейсмической группы PS23-Мақанчи проведен ряд процедур: построение карт минимальных магнитуд, графиков дальности регистрации, графиков повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами. На их основе установлены уровни представительных магнитуд для телесеизмических и региональных расстояний. Установлено, что сейсмическая группа PS23-Мақанчи является весьма эффективной. Установлено также, что для различных диапазонов расстояний существуют различные значения Δm , характеризующие переход от предельных минимальных значений магнитуд событий, регистрируемых на данном расстоянии, к представительным магнитудам регистрируемых событий.

Выявлены азимутальные различия в чувствительности станции по отношению к событиям из разных зон на одном и том же расстоянии, которые могут быть связаны как с характеристиками среды вдоль трассы наблюдения, так и с особенностями конфигурации сети в целом.

Данные сейсмической группы PS23-Мақанчи с высокой степенью эффективности используются как в сейсмологических бюллетенях Международной системы мониторинга для всего земного шара, так и в Центре данных НЯЦ РК для региона Центральной Азии, включая Республику Казахстан.

**АУМАҚТЫҚ ЖӘНЕ ТЕЛЕСЕЙСМИКАЛЫҚ ОҚИҒАЛАРЫН ТІРКЕУІНДЕ
МАҚАНШЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**

Михайлова Н.Н., Синёва З.И.

Арнаулы сейсмикалық ақпараттың жинау және оңдеу орталығы, геофизикалық зерттеулер институты, Алматы, Қазақстан

Жақындағы және қашықтағы оқиғаларды тіркеуінде PS23-Мақаншы сейсмикалық тобының тиімділігін бағалау үшін әр түрлі көзқарас қолданылған: минимальды магнитудалар m карталарын, тіркеу қашықтарының кестелерін, әр түрлі магнитудалары бар сейсмикалық оқиғалардың қайталану кестелерін жасауы. Осының негізінде, телесейсмикалы де және регионалды де қашықтарға, PS23-Мақаншы сейсмикалық тобы өте тиімді болып табылатынын куәландыратын сенімді магнитудаларының деңгейі анықталған. Қашықтардың әр ауқымына мәлім қашықтықта тіркелетін оқиғалардың магнитудларының шекті минимальды мәнінен сенімді тіркелетін оқиғалардың магнитудасына өтуін бейнелейтін Δm -ның әр түрлі мәні сәйкес болуы анықталған. Әр белдемдерден бір қашықтықта тіркелген оқиғаларға қатысты станциялардың сезімділігінде азимутальды айырмашылықтары анықталған. Бұл, бақылау трассасы бойы ортаның мінездемелеріне, сондай-ақ жүйенің жалпы конфигурациясы ерекшеліктеріне байланысты болуы мүмкін.

**ON EFFECTIVENESS OF PS23-MAKANCHI SEISMIC ARRAY
IN REGISTRATION OF REGIONAL AND TELESEISMIC EVENTS**

N.N. Mikhailova, Z.I. Sinyova

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The effectiveness of PS23-Makanchi seismic array for registration of regional and teleseismic events was studied. To solve this task the different approaches were applied: compilation of the minimal magnitudes maps, plotting of seismic sensitivity curves, the plotting of recurrence graphs of seismic events with various magnitudes. After that the representative magnitude levels for different regions were estimated. It was concluded, that PS23-Makanchi array is rather efficient for both regional and teleseismic observations. The different values of Δm parameter (Δm is a parameter that characterizes difference between minimal magnitude level of seismic events, recorded on given distance and representative magnitude level for the same distance) were observed on different distances. The diversity in the array sensitivity for events from different azimuths was revealed. This effect can be explained either by the difference in the seismic travel paths physical characteristics, or by peculiarities of the seismic observation network.