

УДК 550.344:621.039.9

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Приводятся результаты оценки эффективности работы сейсмических станций, входящих в казахстанскую систему ядерного мониторинга. Оценка выполнена на основе данных за 2010 и 2011 гг. по вкладу отдельных станций в сейсмические бюллетени: на телесеизмических расстояниях – бюллетеня REB (Reviewed event bulletin), составляемого в Международном центре данных ОДВЗЯИ (Вена), и на региональных расстояниях – регионального сейсмологического бюллетеня, составляемого в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ, Алматы). Показана высокая эффективность казахстанских станций как при глобальном, так и региональном мониторинге.

В 2006 г. завершен этап создания казахстанского сегмента Международной системы мониторинга (МСМ) ОДВЗЯИ. В сеть МСМ вошли четыре сейсмические станции, из которых одна (PS23-Маканчи) является первичной станцией, в числе 50 запланированных станций мира, а три станции (AS058-Боровое, AS059-Актюбинск и AS057-Курчатов) входят в состав сети вспомогательных станций МСМ, в числе 120 станций мира. Достаточно детальный и ответственный подход к выбору площадок для станций, удачные сейсмогеологические условия их расположения в совокупности с установленной современной высокочувствительной аппаратурой, позволяли надеяться на высокую эффективность станций в сейсмическом мониторинге. В статье сделана попытка установить реальную эффективность станций на основе уже полученных экспериментальных данных по регистрации сейсмических событий во всем диапазоне эпицентральных расстояний. Исходными данными для выполненной оценки послужили результаты обработки записей станций в Международном центре данных (бюллетени REB) и в казахстанском национальном центре данных (бюллетени Центра данных ИГИ - ЦСОССИ). Оценка вклада казахстанских станций основной и вспомогательной сети проведена по бюллетеням отдельно для телесеизми-

ческих и региональных расстояний.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА НА ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ

Оценка эффективности работы сейсмических станций на телесеизмических расстояниях выполнена с использованием бюллетеня REB за 2010 и 2011 гг. В бюллетене REB участвуют данные всех 4 станций: станции первичной сети PS23-Маканчи – МКАР и трех станций, входящих во вспомогательную сеть МСМ. На рисунке 1 приведены результаты оценки, выполненные для 10 станций мира первичной сети МСМ, внесших наибольший вклад в формирование бюллетеня REB в 2010 г. (рисунок 1-а) и в 2011 г. (рисунок 1-б). Следует отметить, что в составе первичной сети МСМ в настоящее время работает более 40 сейсмических станций (создание сети еще полностью не завершено).

Как видно из рисунка 1, станция МКАР занимает третье место, уступая только двум сейсмическим группам: WRA (Варрамунга) и ASAR (Аллис-Спрингс), расположенным в Австралии вблизи Тихоокеанского сейсмического пояса – региона, характеризующегося наивысшим на Земле уровнем сейсмической активности.

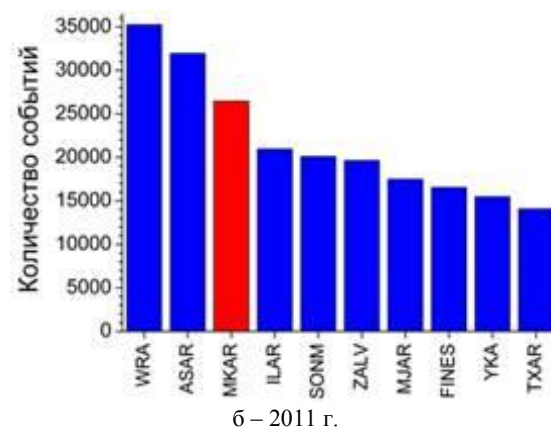
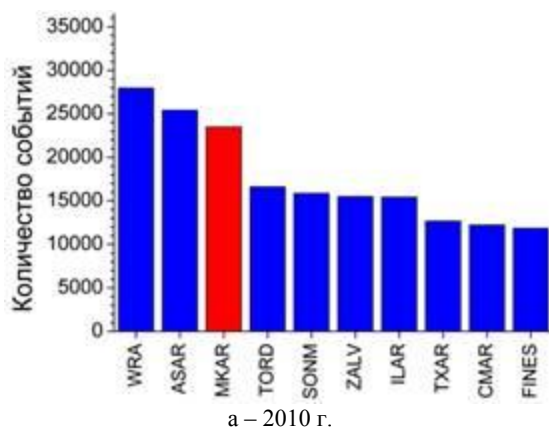
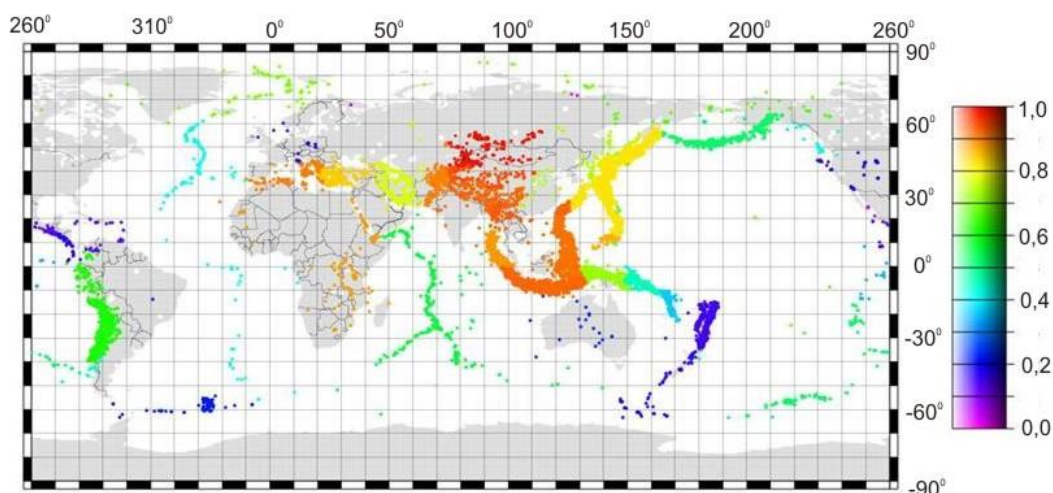


Рисунок 1. Вклад станций первичной сети Международной системы мониторинга в составление бюллетеня REB

На рисунке 2 показана доля участия станции МКАР в регистрации событий по отдельным регионам мира. Из рисунка 2 следует, что станция МКАР регистрирует 80 и более процентов событий, из числа включенных в РЕВ и произошедших в Азии, на Ближнем Востоке и в Африке, т.е. в районах, представляющих в настоящее время наибольший интерес с точки зрения мониторинга ядерных испытаний. Рисунок 3 показывает, что в этих районах минимальная регистрируемая магнитуда регистрируемых событий составляет 3,0 – 3,5.

На рисунке 4 приведены результаты оценки участия 12 станций, входящих во вспомогательную сеть МСМ и внесших наибольший вклад в составление

бюллетеня РЕВ в 2010 г. (рисунок 4-а) и в 2011 г. (рисунок 4-б). Среди этих станций уверенно лидируют две казахстанские станции KURK (AS057-Курчатов) и BVAR (AS058-Боровое). Они являются лидерами среди 99 станций, входящих в настоящее время во вспомогательную сеть МСМ. К сожалению, оценка реальной эффективности станций вспомогательной сети на основе бюллетеня РЕВ несколько осложняется тем, что, в отличие от станций первичной сети, посылающих в Международный центр свои данные в непрерывном режиме, станции вспомогательной сети привлекаются к обработке только по запросу, для уточнения координат некоторых событий.



Цветом обозначена доля событий из данного региона, зарегистрированных станцией PS23-Маканчи

Рисунок 2. Участие станции PS23-Маканчи в составлении бюллетеня РЕВ для различных сейсмических регионов мира в 2010 г.

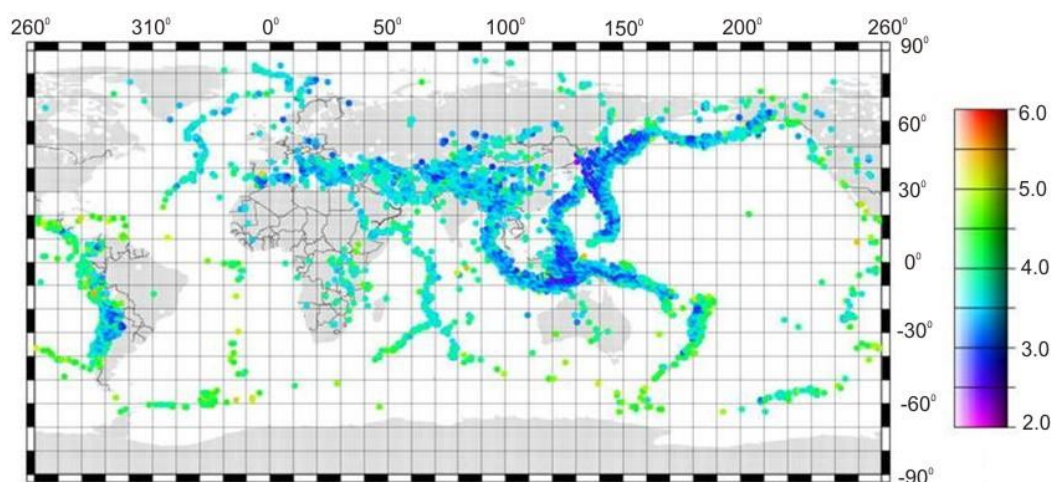


Рисунок 3. Карта событий с минимальной магнитудой, зарегистрированных станцией PS23-Маканчи в 2010 г.

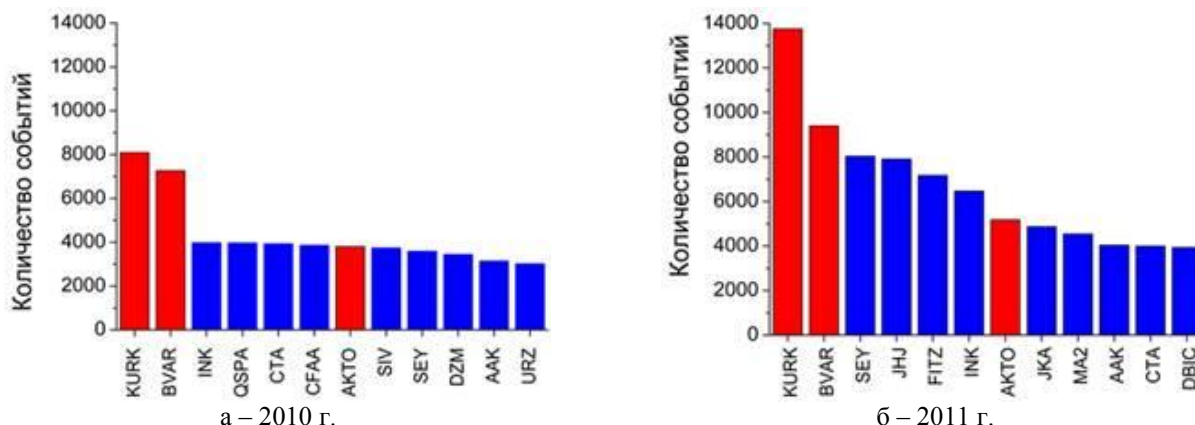


Рисунок 4. Вклад станций вспомогательной сети Международной системы мониторинга в составление бюллетеня REB

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

В 2010 г. в составлении регионального сейсмологического бюллетеня Центра данных ИГИ использовались данные 20 сейсмических станций. Из них 4 – так называемые регионально-телесеismicкие группы с апертурой 3 – 4 км. Это группы PS23-Маканчи (MKAR), Акбулак (ABKAR), Каратау (KKAR), AS058-Боровое (BVAR). Еще одна сейсмическая группа – AS057-Курчатов (KURBB), – является телесеismicкой, с апертурой 22.5 км. Станции Чкалово (CHKZ), Восточное (VOSZ) и Зеренда (ZRNZ) также являются сейсмическими группами, однако, к сожалению, состояние большинства датчиков у этих групп в 2010 г. было неудовлетворительным, и поэтому в обработке использовались данные только центральных трехкомпонентных датчиков. В 2010 г. к обработке были дополнительно подключены 6 станций Центрально-Азиатской сети сейсмического мониторинга CAREMON, созданной при поддержке Германии, две из которых (Подгорное - PDGN и Ортау - OTUK) расположены на территории Казахстана, две (Джерино - DJRN и Манас - MNAS) – на территории Кыргызстана, одна (Суфи-

Курган - SFK) – на территории Таджикистана и одна (Ашгабат - ASHT), на территории Туркменистана. Кроме того, в реальном времени поступали данные двух станций IRIS (Consortium – Incorporated Research Institutions for Seismology), расположенных на территории Казахстана (Курчатов- KURK и Боровое-BRVK), данные станции KNDC, расположенной в Алматы, а также данные станции AS059-Актюбинск (AKTO), расположенной в Западном Казахстане и входящей в сеть MCM. И, наконец, в обработке использовались данные двух станций кыргызской сети KNET: Ала-Арча (AAK) и Токмак (TKM2). В 2010 г. было обработано и занесено в региональный сейсмологический бюллетень 18 475 сейсмических событий. В таблице 1 (во втором столбце) для каждой станции приведено количество событий из регионального бюллетеня, в обработке которых использовались данные каждой из станций. В третьем столбце таблицы рассчитана доля участия каждой станции – число событий с участием станций, деленное на общее количество событий в бюллетене за год (18 475). На рисунке 5-а приведены данные об участии каждой станции в региональном бюллетене.

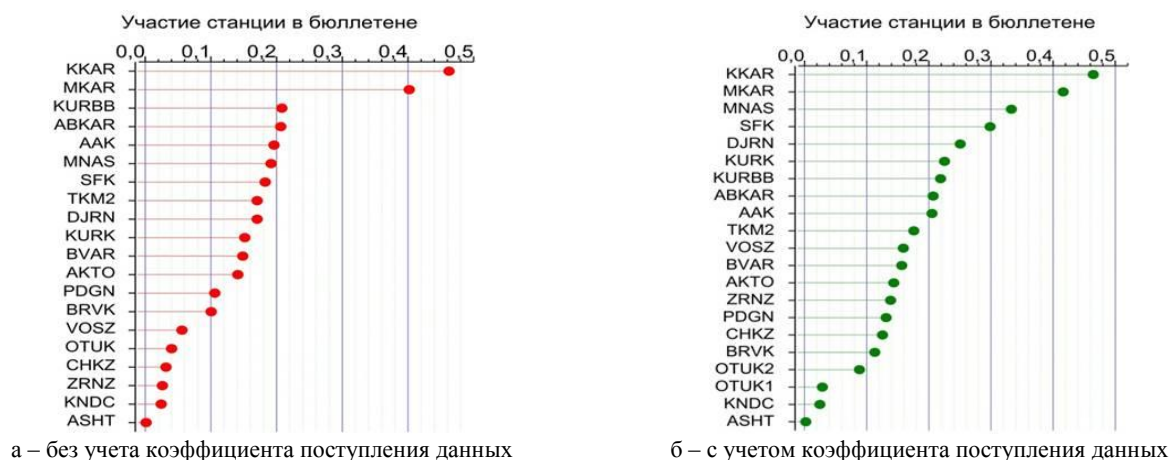


Рисунок 5. Участие станций в составлении бюллетеня ЦСОСН за 2010 г.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА**

*Таблица. Участие станций в составлении оперативного бюллетеня ЦСОССИ за 2010 г.*

Станция	Количество событий	Участие в бюллетене	Поступление данных	Участие в бюллетене с учетом поступления данных
AAK	3621	0.19599	0.95546	0.20513
ABKAR	3812	0.20633	0.99683	0.20699
AKTO	2605	0.141	0.98285	0.14346
ASHT	26	0.00141	0.75177	0.00187
BRVK	1856	0.10046	0.88891	0.11301
BVAR	2743	0.14847	0.94925	0.15641
CHKZ	584	0.03161	0.25203	0.12542
DJRN	3147	0.17034	0.67984	0.25055
KKAR	8545	0.46252	0.9954	0.46465
KNDC	449	0.0243	0.98995	0.02455
KURBB	3844	0.20806	0.95042	0.21892
KURK	2801	0.15161	0.67304	0.22526
MKAR	7425	0.40189	0.96544	0.41628
MNAS	3539	0.19156	0.57544	0.33289
OTUK (среднее), в т.ч.:	741	0.04011	0.77954	0.05145
OTUK1		0.0204	0.74788	0.02865
(до модернизации)				
OTUK2		0.07311	0.82386	0.0883
(после модернизации)				
PDGN	1956	0.10587	0.80646	0.13128
SFK	3374	0.18263	0.61182	0.2985
TKM2	3148	0.17039	0.9695	0.17575
VOSZ	1034	0.05597	0.35241	0.15881
ZRNZ	482	0.02609	0.18856	0.13836

Из рисунка 5 видно, что станция Каратау-ККАР уверенно лидирует – данные этой станции использовались при обработке почти 50% событий из бюллетеня ЦСОССИ. Немного уступает ей станция PS23-Маканчи (МКАР) – ее данные использовались при обработке записей примерно 40% событий. Остальные станции значительно отстают от них. Замыкают график станции KNDC и ASHT, расположенные в крупных городах (в Алматы и Ашгабаде).

Для более корректного определения эффективности станций необходимо учитывать, что в течение года по ряду причин (поломка, перебои в каналах связи, модернизация) станция может не посылать свои данные, и, соответственно, не участвовать в составлении бюллетеня. Поэтому для каждой станции был рассчитан коэффициент поступления данных (четвертый столбец таблицы) и участие станции с учетом этого коэффициента. Полученные результаты приведены на рисунке 5-б. Для станции OTUK данные приведены с учетом проведенной на ней модернизации – сейсмоприемник был перемещен из временного помещения в специально построенный бункер. Поэтому доля участия для этой станции рассчитана отдельно для двух периодов времени: до модернизации станции – OTUK1, после модернизации станции – OTUK2. После учета коэффициента поступления данных станции ККАР и МКАР сохранили лидерство. Значительно улучшились показатели трех станций сети CAREMON (MNAS, SFK, DJRN), расположенных в высокосейсмичных районах Кыргызстана и Таджикистана. Именно в 2010 г. развертывалась сеть CAREMON, происходили подключение и настройка этих станций.

Таким образом, график на рисунке 5-а отражает фактический вклад станций в составление регионального бюллетеня, а график на рисунке 5-б – возможный вклад при условии безупречной работы станции.

При оценке эффективности станций необходимо иметь в виду еще и то обстоятельство, что сейсмические станции могут располагаться в регионах с различным уровнем сейсмической активности. Например, станция Каратау – ККАР располагается в регионе с очень высоким уровнем сейсмической активности в отличие, например, от станции Акбулак - АВКАР, и именно этим обстоятельством можно объяснить большое число зарегистрированных ею событий. Важной характеристикой для станций является ее чувствительность при регистрации сейсмических событий вне зависимости от того, в активном или спокойном регионе она находится.

Такую оценку могут дать графики дальности регистрации по каждой станции для событий разной магнитуды (или энергетического класса). С целью получения таких данных для каждой из 20 станций была построена зависимость энергетического класса события из регионального бюллетеня от расстояния до зарегистрировавшей его станции. На рисунке 6 приведен пример построения такой зависимости для станции МКАР.

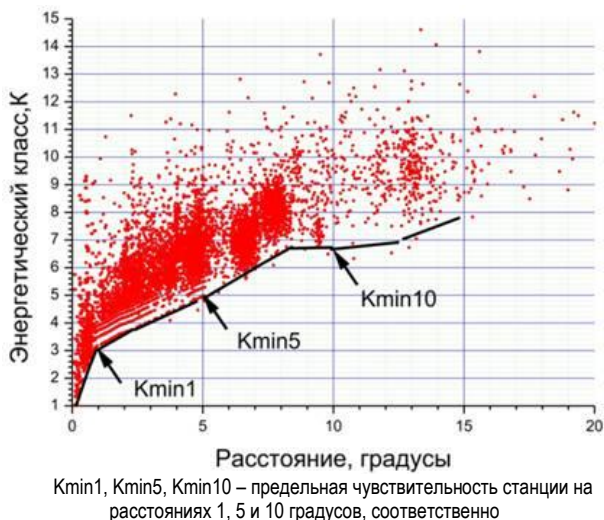


Рисунок 6. Огибающая минимальных значений энергетического класса для станции MKAR

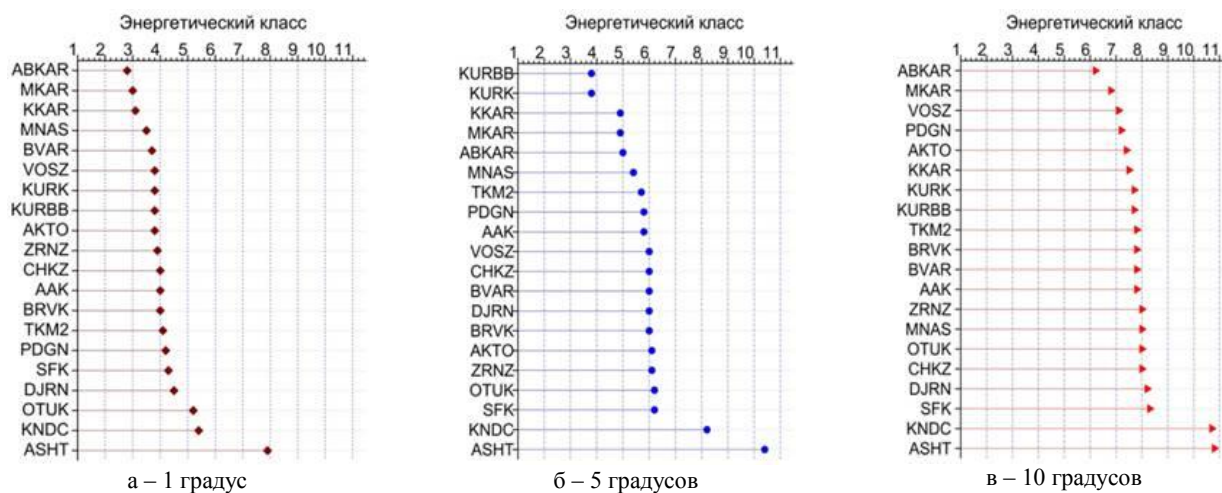


Рисунок 7. Минимальные значения энергетических классов событий, регистрируемых станциями на различных расстояниях

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволяет заключить, что эффективность работы станции, оцениваемая по ее вкладу в составление сейсмических бюллетеней, зависит от многих факторов: от расположения станции относительно сейсмоактивных зон, от качества оборудования, установленного на станции, от качества каналов связи с Центром данных. В глобальном мониторинге сейсмические казахстанские станции ядерного мониторинга, как первичная, так и вспомогательные, отличаются высокой эффективностью, обеспечивающей их значимый вклад в обнаружение и обработку событий, прежде всего в Международном центре данных. При осуществлении региональ-

ного мониторинга наивысшую эффективность демонстрируют три сейсмические группы – ABKAR, K KAR и MKAR. Большой вклад также вносят станции новой сети в Центральной Азии CAREMON, а также станция KURBB. Следует отметить, что важность станции определяется не только ее чувствительностью или числом регистрируемых событий. Например, станция KNDC расположена в крупном городе, и, соответственно, имеет невысокую чувствительность из-за высокого уровня сейсмических шумов. Однако ее данные неопределимы при мониторинге сильных и ощутимых землетрясений в таком стратегическом месте, как крупнейший мегаполис страны.

Огибающая минимальных значений энергетического класса событий, зарегистрированных данной станцией, позволяет судить о том, события какого энергетического класса на данном расстоянии может быть зарегистрировано этой станцией при самых благоприятных условиях. Аналогичные кривые дальности предельной регистрации получены по всем 20 исследованным станциям, что позволило построить графики, позволяющие провести сравнительный анализ возможностей разных станций (рисунок 7).

Из рисунка 7 видно, что при регистрации локальных событий вблизи станции (расстояние до 1 градуса) наивысшую чувствительность показывает станция ABKAR, станции MKAR и K KAR лишь немного ей уступают.

## ЯДРОЛЫҚ МОНИТОРИНГТИҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

**Синёва З.И., Михайлова Н.Н.**

*Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан*

Ядролық мониторингтің қазақстандық жүйесіне кіретін сейсмикалық станциялардың жұмысы тиімділігін бағалау нәтижелері келтіріледі. Бағалауы 2010 және 2011 жылдардың деректері негізінде, сейсмикалық бюллетеньдеріне әр станциялардың үлесі бойынша орындалған: телесеисмикалық қашықтықтарда - ЯСБТШ Халықаралық деректер орталығында құрастырылатын REB (Reviewed event bulletin) бюллетені, аймақтық қашықтықтарда – Арнаулы сейсмикалық ақпаратын жинау және өңдеу орталығында (АСАЖӨО, Алматы) құрастырылатын аймақтық сейсмикалық бюллетені. Глобал және аймақтық мониторингіде бірдей қазақстандық станциялардың жоғары тиімділігі көрсетілген.

## EFFECTIVENESS OF KAZAKHSTANI STATIONS FOR NUCLEAR MONITORING

**Z.I. Sinyeva, N.N. Mikhaylova**

*RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

Assessment of overall performance of the seismic stations comprising Kazakhstan system for nuclear monitoring is given. This was done based on the data for 2010 and 2011 by input of separate stations to seismic bulletins: for teleseismic distances – REB bulletin (Reviewed event bulletin) produced in the IDC CTBTO (Vienna), for regional distances – the regional seismological bulletin produces in the Center for acquisition and processing of special seismic information (CAPSSI, Almaty). High performance of the Kazakhstani stations both in global, and regional monitoring is shown.