

УДК 550.344

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В МОНИТОРИНГЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Рябенко П.В., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

В Казахском национальном центре данных (КНЦД) в круглосуточном режиме в реальном времени ведется сбор данных со всех станций ИГИ МЭ РК и передача их в Международные центры данных. По результатам обработки формируются бюллетени сейсмических событий разной степени оперативности: бюллетень срочных донесений, автоматический бюллетень, интерактивный бюллетень, сводный сейсмологический оперативный бюллетень по данным двух сетей наблюдений Казахстана – ИГИ МЭ РК и СОМЭ МОН РК.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена анализу данных, включаемых в сводный бюллетень сейсмических событий, и оценке вклада и возможностей различных станций – как ИГИ, так и СОМЭ, в обнаружении сигналов и локализации источников землетрясений и взрывов.

К оценке эффективности сейсмических станций можно подойти с разных позиций. Например, по участию станции в обработке включенных в бюллетень событий. Такой подход использовался, например, в работе [1] для характеристики роли станции Маканчи в глобальном и региональном мониторинге. Но этот подход не вполне справедлив в отношении станций, расположенных в асейсмичных зонах, где априори известно, что в районе расположения станций на значительных расстояниях не происходят землетрясения. Поэтому использовались и другие подходы – сравнение станций по спектральному уровню сейсмических шумов, по графикам дальности регистрации событий с разными магнитудами,

по участию станций в обработке событий из разных регионов.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сеть станций ИГИ в её нынешнем составе сформировалась в основном к 2010 году. Основу сети составляют сейсмические группы нового поколения (рисунок 1), введенные в строй последовательно с 1999 по 2006 годы. Это регионально – телесеismicкие группы с апертурой 3–4 км Маканчи (MKAR), Акбулак (ABKAR), Каратау (KKAR), Боровое (BVAR), а также телесеismicкая группа с апертурой 22,5 км Курчатов-Крест (KURBB). Все группы располагаются по периметру территории Казахстана и участвуют как в глобальном мониторинге по контролю за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, так и в мониторинге землетрясений и взрывов на территории Казахстана и стран Центральной Азии.

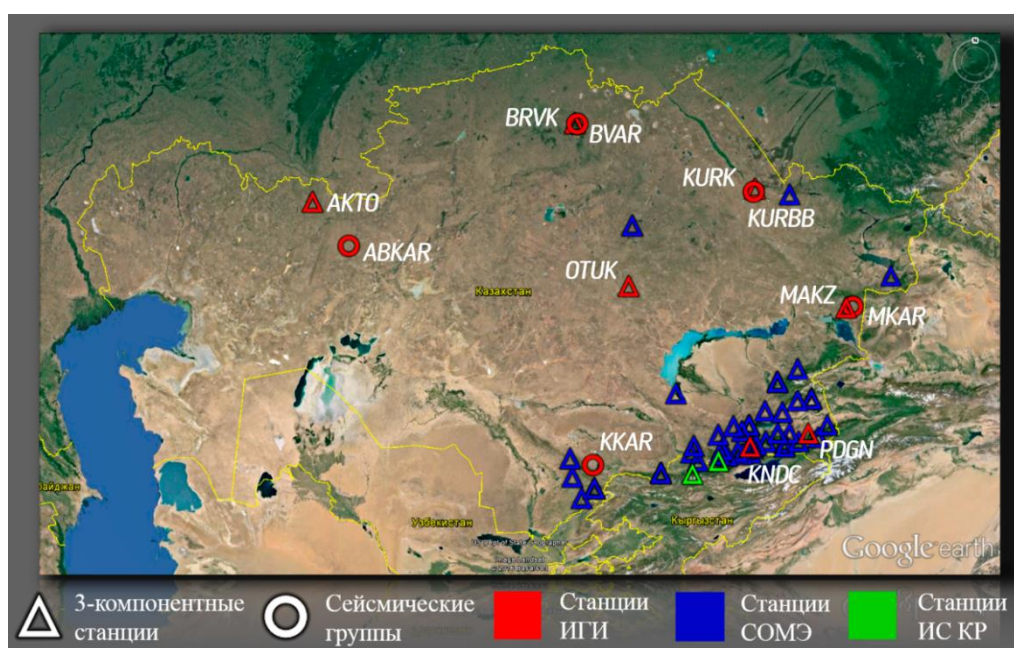


Рисунок 1. Карта расположения сейсмической сети ИГИ, СОМЭ и ИС КР

Кроме сейсмических групп в состав сети станций ИГИ входят несколько трёхкомпонентных станций, расположенных в разных частях Казахстана. Это станции Актюбинск (АКТО), Ортау (ОТУК), Подгорное (PDG) и KNDC в г. Алматы.

Среди станций ИГИ две группы и две трехкомпонентные сейсмические станции расположены в сейсмически активных районах Казахстана – это Маканчи, Каратау, Подгорное и KNDC. Остальные объекты находятся на территориях, до последнего времени считающихся асейсмичными, то есть на которых не прогнозировалось появление сильных событий с интенсивностью проявления колебаний более 5 баллов.

Для повышения качества сейсмических бюллетеней, их полноты и точности определения параметров источников с 2006 г. дополнительно в КНЦД начали поступать результаты обработки по станциям СОМЭ с задержкой на одни сутки. Всего в настоящее время к обработке привлекаются данные 44 станций СОМЭ. Кроме того, в реальном времени ведется сбор данных с двух станций ИС Кыргызской Республики, расположенных на территории Кыргызстана. Это станции Ала-Арча (ААК) и Токмак (ТКМГ).

Заметим, что практически все станции СОМЭ МОН РК и ИС КР, используемые в КНЦД, расположены в сейсмическом районе Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. Исключение составляет станция Семипалатинск, расположенная в пределах города Се-

мипалатинска, и станция Березники, открытая несколько лет назад.

Сводный сейсмический бюллетень формируется в КНЦД с запаздыванием 2 суток по отношению к реальному времени, доступен специальным пользователям на веб-сайте КНЦД [2] и отправляется из КНЦД в ИС РК и СОМЭ МОН РК.

ОЦЕНКА ВКЛАДА СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В СЕЙСМОМОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ СТРАН

В настоящей работе нас интересовала информация последних двух лет, когда система наблюдений и методика обработки оставались практически неизменными. Для анализа были взяты данные за 2014 и 2015 год. Создана база данных под управлением СУБД MySQL, куда вошли как параметры обработанных очагов, так и данные всех станций, участвующих в обработке событий. Всего за этот период в бюллетень было включено 27 114 событий.

На рисунке 2 представлена карта эпицентров всех событий за два года событий, среди которых есть и землетрясения, и взрывы. Видно, что события, которые обрабатываются в КНЦД, находятся на огромной территории Центральной Азии.

Далее была сделана оценка вклада каждой станции в обработку этих событий. В таблице 1 приведены данные только по станциям ИГИ, но расчеты сделаны для абсолютно всех станций, участвующих в составлении сводного бюллетеня.

Таблица 1. Оценка вклада в составление сводного бюллетеня по каждой станции

Сейсмические станции	МКАР	ККАР	ААК	МАКЗ	ТКМ2	PDGN	АВКАР	КУРББ	УЗВ	АКТО	КУРК	БРВК	KNDC	ОТУК
Количество землетрясений	10840	8387	7080	6554	6458	5326	5253	5064	4379	3940	2522	1681	1119	599

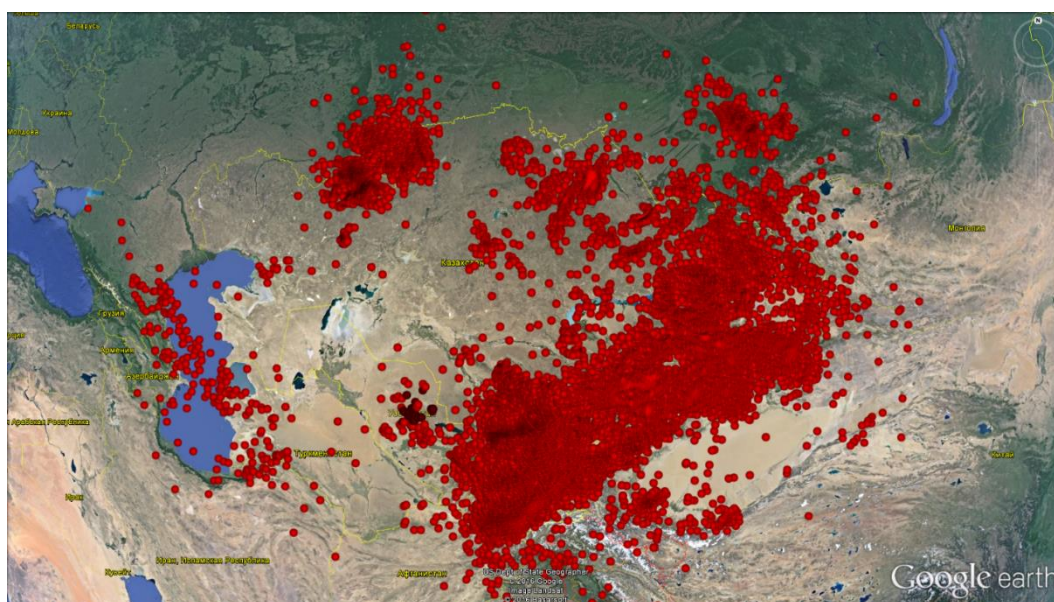


Рисунок 2. Карта эпицентров сейсмических событий за период с 2014–2015 гг.

Как видно, самый существенный вклад в мониторинг Центральной Азии вносят две сейсмические группы ИГИ – Маканчи и Каратау. Они обладают высокой чувствительностью и находятся вблизи областей высокой сейсмической активности.

На рисунке 3 в графическом виде представлена информация о степени участия в сводной обработке всех станций, данные которых поступают в КНЦД. Всего расчеты сделаны по 62 станциям. Первые восемь позиций занимают станции ИГИ и две станции Кыргызстана, данные которых поступают в КНЦД в полном объеме в реальном времени и обрабатываются аналитиками КНЦД. Станция Ала-Арча, также, как и станции ИГИ, входит в Международную систему мониторинга ОДВЗЯИ и является одной из лучших в регионе. Станции СОМЭ занимают позиции с 9-ой и ниже. Это связано, с одной стороны, с их несколько меньшей чувствительностью, с другой стороны – с использованием в нашем анализе результатов оперативной обработки, выполненный сотрудниками СОМЭ. Возможно, при окончательной обработке число обнаруженных в СОМЭ событий возрастает.

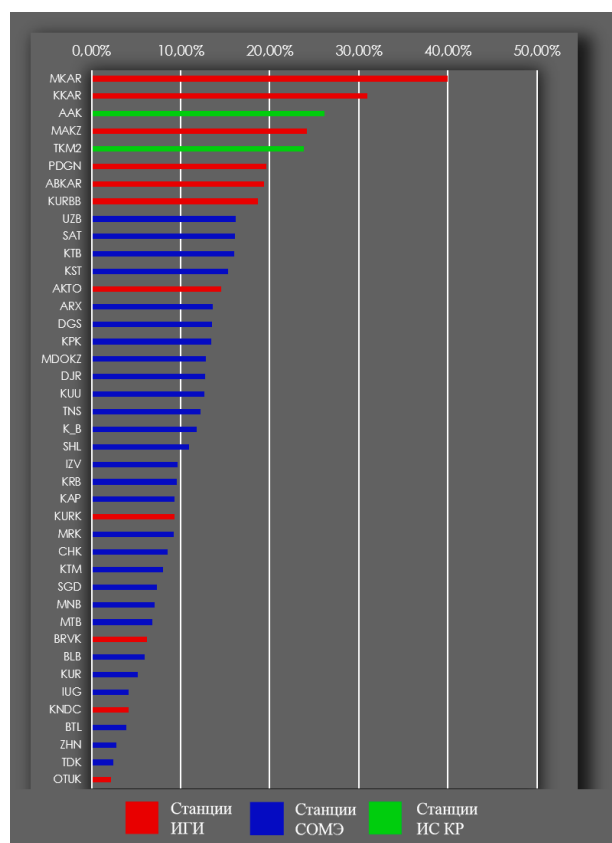


Рисунок 3. Степень участия каждой станции в сводной обработке (отношения количества событий с участием данной станции к общему числу событий бюллетеня)

Можно сказать, что таким образом мы оценили в интегральном виде вклад каждой станции. Однако при рассмотрении сейсмичности отдельных регио-

нов Казахстана эта картина может существенно измениться. Например, такая ситуация проявляется в отношении территории Западного Казахстана.

Здесь основную нагрузку в отношении регистрации тектонических землетрясений, техногенных землетрясений, промышленных взрывов несут две станции ИГИ – Акбулак (сейсмическая группа) и Актюбинск (скважинная трехкомпонентная станция).

На рисунке 4 взят один фрагмент карты эпицентров для Западного Казахстана и оценен вклад в обработку этих событий станций. В 52% всех событий участвует группа Акбулак, в 46% – станция Актюбинск. Только в единичных событиях (0,16% от общего числа) при обработке используется данные групп Боровое и Каратау. Это происходит потому, что все события на этой территории, в основном, слабые. Их магнитуда не превышает 3,5.

Следует отметить, что этот район является чрезвычайно важным для оценки сейсмической опасности и слежения за проявлением активности в местах интенсивной разработки месторождений углеводородного сырья. Только станции ИГИ в настоящее время могут регистрировать возникающие в процессе разработки месторождений события. Ни в одном международном центре нет данных о слабых событиях в районе месторождений. В частности, получены уникальные данные о сейсмичности на месторождении Тенгиз. С увеличением объема добычи нефти произошел и рост количества землетрясений и их высвобожденной энергии. До 2005 г. здесь не происходило событий с магнитудой более 2 [3]. За период 2011–2015 гг. на территории месторождения зарегистрировано 20 землетрясений с магнитудами от 2,5 до 4,3 на глубинах 3–4 км. Некоторые из этих землетрясений являются ощутимыми, как например, землетрясения 21 февраля 2011 года, проявившиеся с интенсивностью 4 балла. Благодаря этим данным, доказавшим наличие на Тенгизе техногенной сейсмической активности, возросло внимание в целом к проблеме, связанной с риском техногенных землетрясений в Казахстане. Начаты работы по созданию специальных сетей геодинамического мониторинга землетрясений. На рисунке 5 показаны записи техногенного землетрясения на Тенгизе по станциям ИГИ.

Ценность данных станций Актюбинск и Акбулак велика и в отношении других районов, считающихся асейсмичными. Например, впервые доказано существование природной активности вблизи г. Рудный, где в 2004 и 2016 году произошли ощутимые землетрясения. Поэтому, несмотря на меньший общий вклад в сейсмический бюллетень, станции ИГИ расположенные на западе и севере Казахстана приносят очень важную информацию, не дублируемую никакими другими сейсмическими станциями региона и мира.

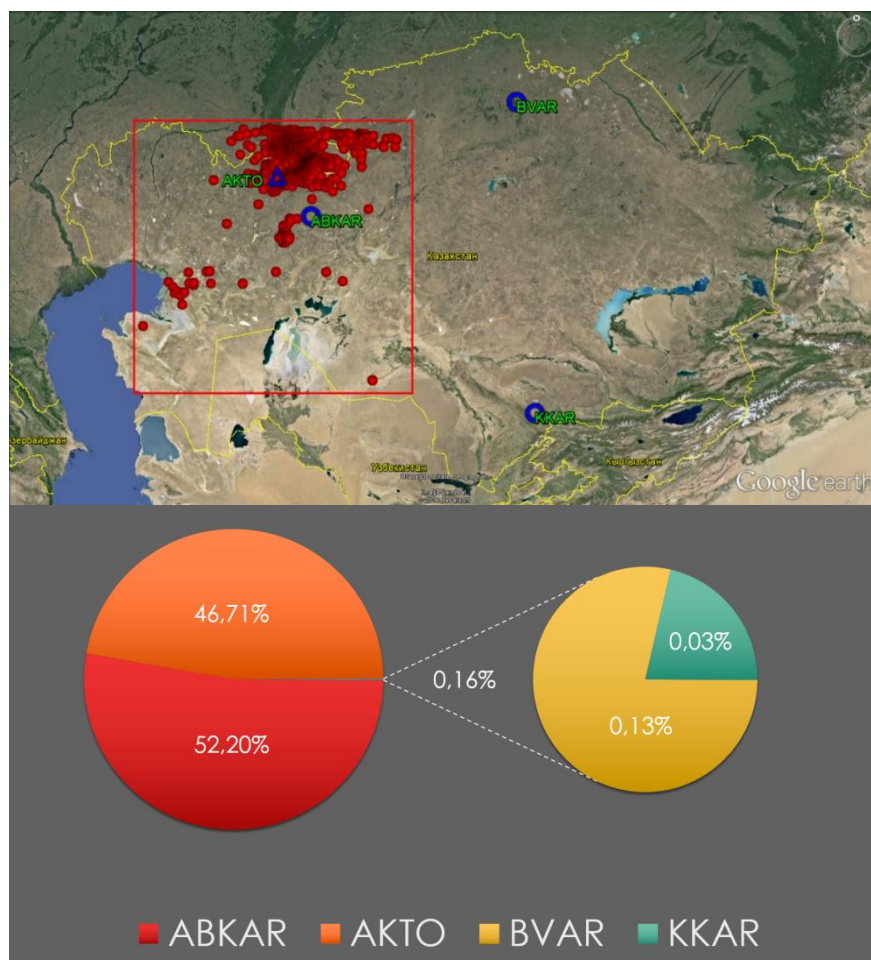


Рисунок 4. Карта эпицентров сейсмических событий западного Казахстана и оценка вклада в обработку станциями ИГИ

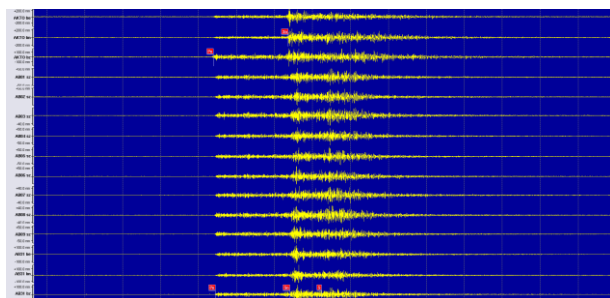


Рисунок 5. Пример техногенного землетрясения на Тенгизе по станциям ABKAR и AKTO

О МАГНИТУДНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СТАНЦИЙ КАЗАХСТАНА

О возможностях и эффективной чувствительности каждой станции можно судить по зависимостям предельных расстояний от магнитуды регистрируемых землетрясений. Известно, что для каждой станции в зависимости от типа аппаратуры регистрации, условий в месте установки прибора, уровня сейсмических шумов будет различно то расстояние, на котором станция может «видеть» событие той или иной магнитуды. По сейсмическим бюллетеням за

2014–2015 г. г. были построены по всем участвующим в обработке станциям графики дальности регистрации. Пример такого графика по сейсмической группе Маканчи приведен на рисунке 6а. Каждая точка на графике соответствует одному событию с соответствующей магнитудой m_{rv} и расстоянием до эпицентра Δ , км. По графику видно, что станция расположена в зоне, где даже в непосредственной близости от станции происходят землетрясения. Для каждого значения магнитуды m_{rv} есть предел по расстояниям, где такое событие еще может быть отмечено. Ограничивающая кривая $m_{rv}=f(\Delta)$ поля всех точек на графике снизу показывает предельные расстояния для каждой магнитуды. Эта кривая показана на рисунке 6в. На рисунке 6б представлен аналогичный график по лучшей согласно рисунка 3 трехкомпонентной станции СОМЭ Узун-Булак (UZB), расположенной в активной зоне Северного Тянь-Шаня на восток от Алматы. На рисунке 6в на одном графике приводится сравнение двух кривых $m_{rv}=f(\Delta)$ по двум станциям Маканчи и Узун-Булак. Видно, что для всех расстояний Маканчи является более чувствительной, чем Узун-Булак.

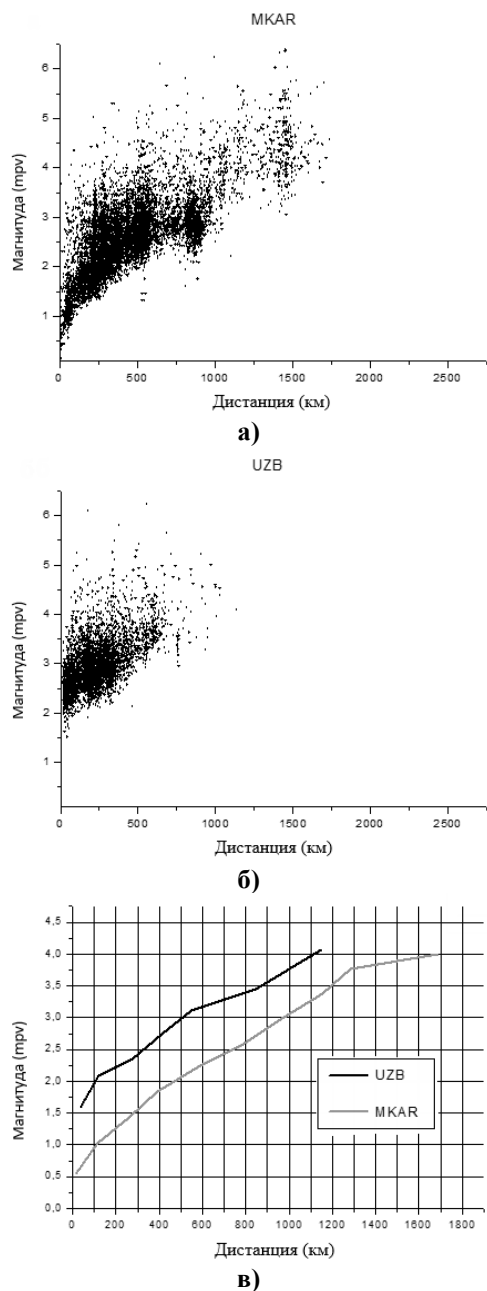


Рисунок 6. а – график дальности регистрации сейсмической группы Маканчи, б – график дальности регистрации сейсмической станции Узун-Булак, в – сравнение двух кривых по двум станциям Маканчи и Узун-Булак

Практически разница в магнитудах на одном и том же расстоянии составляет единицу. Маканчи регистрирует более слабые события на всем диапазоне расстояний. Этот вывод подтверждается и данными таблицы 2, где для одного и того же значения магнитуд показано расстояние, на котором событие этой магнитуды еще может быть зарегистрировано.

Когда графики дальности регистрации построены по всем станциям, то можно расчетным способом оценить, какой энергетический уровень землетрясений или взрывов является представительным

для всей территории Казахстана, то есть, начиная с какого минимального уровня энергии, событие не будет пропущено никогда при данной сети наблюдений. Для такого расчета требуется сначала перейти от предельных радиусов регистрации к представительным. Это означает, что нужно оценить тот уровень энергии, когда события ни при каких обстоятельствах не будут пропущены, то есть обнаружение будет возможно при любых уровнях варьирующих сейсмических шумов. Для этого мы воспользовались выводами работы [4]. Кроме того, для удобства трактовки выводов от магнитуды событий был осуществлен переход к энергетическим классам K , являющимся логарифмом высвобожденной сейсмической энергии: $K = \lg E$ (Дж). Графики представительных расстояний по энергетическим классам приведены в сводном виде по всем станциям ИГИ на рисунке 7. Видно, что лучшими по этой характеристике являются три сейсмические группы – Маканчи, Каратау и Акбулак.

Если предположить, что не существует азимутальных различий в чувствительности станций и во всех направлениях для одной магнитуды радиусы предельной регистрации одинаковы, то можно построить карту минимальной представительной магнитуды для всей территории Казахстана. (рисунок 8).

В настоящее время на всей территории не может быть пропущено, не обработано и не включено в бюллетень событие с минимальной магнитудой $mrv=3,5-3,7$ и энергетическим классом $K=8,5$.

Эти расчеты подтверждаются и построенной по эмпирическим данным картой минимальных энергетических классов событий, которые вошли в интерактивный бюллетень сейсмических событий. Карта построена по следующей методике: для каждой ячейки размером $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ выбирался минимальный энергетический класс из всех событий, попавших в ячейку. На рисунке 9 показана карта минимальных энергетических классов по данным станций ИГИ. На карте четко видны области, связанные с сейсмическими группами Маканчи, Каратау, Акбулак. Видно, что их магнитудная чувствительность очень высока. Вблизи групп имеют место события с энергетическими классами менее 2. По мере роста расстояния уровень класса растет. Видно, что на всей территории нет областей, где бы минимальный энергетический класс превышал 9 или 10. Это соответствует выводами, что сеть ИГИ контролирует сейсмичность Казахстана по всей территории с уровня $K=8,5$. На Северном Тянь-Шане и вблизи групп этот уровень значительно ниже. Это позволяет получить необходимые для научных исследований по сейсмической опасности и прогноза землетрясений материалы и представлять их в ИС, ДЧС с необходимой для этих целей оперативностью и точностью.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В МОНИТОРИНГЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Таблица 2. Регистрация минимальных магнитуд на разных расстояниях по станциям Маканчи и Узун-Булак

	MKAR	UZB	MKAR	UZB	MKAR	UZB	MKAR	UZB
Магнитуда	1	1	2	2	3	3	4	4
Дистанция, км	111	-	475	106	997	510	1672	1125

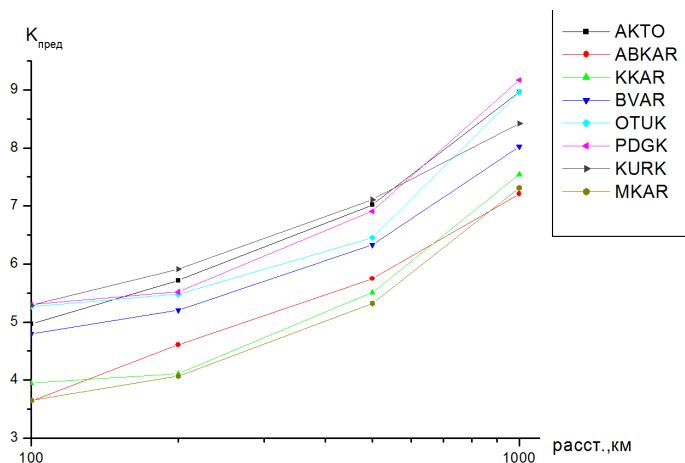


Рисунок 7. Графики представительной регистрации K сейсмических групп и трёхкомпонентных станций ИГИ на региональных расстояниях

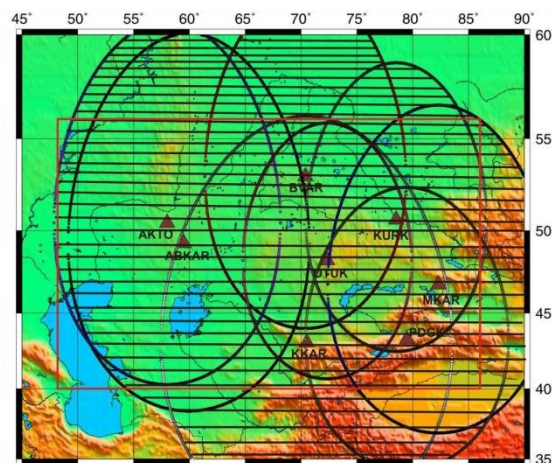


Рисунок 8. Карта областей представительной регистрации землетрясений с $K = 8.5$ сейсмическими группами и трёхкомпонентными станциями ИГИ

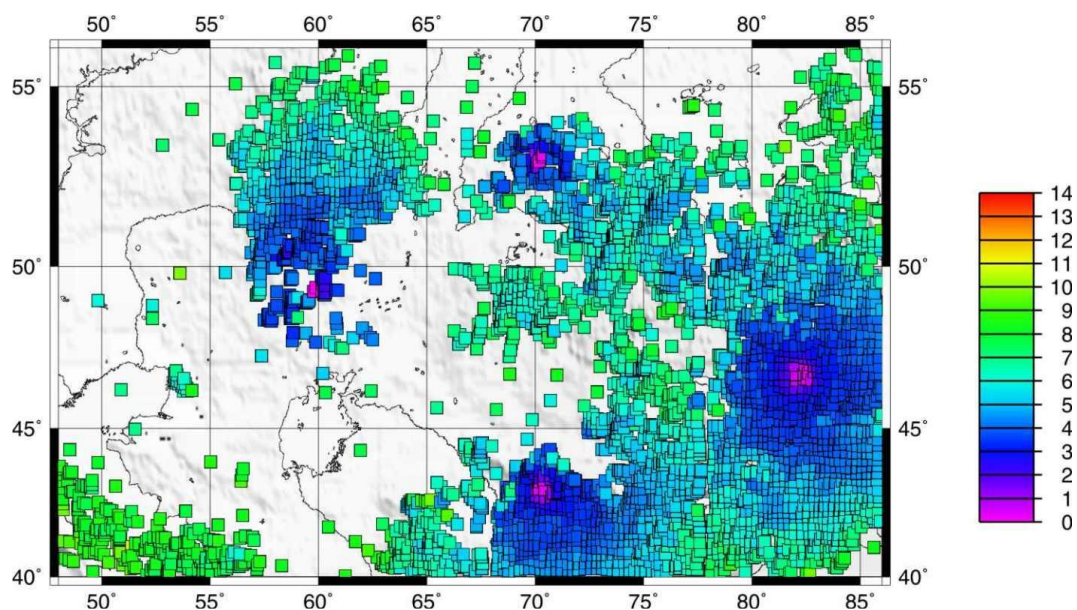


Рисунок 9. Карта минимальных энергетических классов K по данным интерактивного сейсмического бюллетеня КНЦД

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что по разным характеристикам наиболее эффективными для сейсмического мониторинга Казахстана являются сейсмические группы ИГИ Маканчи, Каратау, Акбулак. Всей сетью станций ИГИ обеспечена представительная регистрация на территории страны зем-

трясений и взрывов с минимальной магнитудой 3.5, энергетическим классом 8.5. Именно сеть станций ИГИ позволила зарегистрировать события в районах, считавшимися асейсмичными, и показать наличие среди сейсмических событий землетрясений техногенной природы, например, на месторождении Тенгиз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синёва, З.И. Оценка эффективности сейсмической группы PS23-Маканчи при регистрации региональных и телесейсмических событий / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ, 2004. – Вып. №2 (18). – С. 15–22.
2. [Электронный ресурс] : <http://www.kndc.kz/> – Сайт Казахстанского Национального Центра Данных.
3. Абаканов, А.Т. Проявления техногенной сейсмичности на нефтяных и газовых месторождениях республики казахстан (на примере месторождения Тенгиз) / А.Т. Абаканов, Д.В. Казаков, Н.О. Нуржумаев, А.Ж. Жараспаев, А.Т. Данабаев // Материалы докладов VIII Международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». г. Бишкек. 2016. – С 3–7.
4. Синёва, З.И. Участие Казахстанского национального центра данных в оценке эффективности сейсмического мониторинга в рамках ОДВЗЯИ / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: тезисы докладов. VI Междунар. конф., Курчатов, 09–13 авг.2010. – Курчатов: НЯЦ РК, 2010. – С. 37.

ОРТАЛЫҚ АЗИЯ АУМАҒЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРІНІҢ МОНИТОРИНГІСІНДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

П.В. Рябенко, Н.Н. Михайлова

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Қазақстандық ұлттық деректер орталығында (ҚҰДО) тәулік бойлық режимінде нақты уақытында ҚР ЭМ ГЗИ барлық станцияларынан деректерді жинауы және оларды Халықаралық деректер орталығына жіберуі жүргізіледі. Өңдеу нәтижелері бойынша әр түрлі жеделдігінде оқиғалардың сейсмикалық бюллетеньдері қалыптастырылады: жедел хабарламалар бюллетені, автоматты бюллетень, интерактивті бюллетень, Қазақстанның екі бақылау желілерінің – ҚР ЭИ ГЗИ және ҚР БҒМ СТӘЭ – деректері бойынша жинақы сейсмологиялық бюллетені.

SEISMIC STATIONS EFFECTIVENESS IN EARTHQUAKE MONITORING OF CENTRAL ASIA TERRITORY

P.V. Ryabenko, N.N. Mikhailova

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Kazakhstan Data Centre compiles several types of seismic bulletins. The contribution of RSE IGR and SEME MES RK stations into the joint operative bulletin is assessed. The most effective are seismic arrays Makanchi and Karatayu located in seismically active regions of Kazakhstan. For the West Kazakhstan, the significant role of Akbulak station (seismic array) and Aktyubinsk station is noted as the stations contribute much into the monitoring of induced events at oil and gas field deposits.