

УДК 550.344

НОВЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА, ПОЛУЧЕННЫЕ НА АРХИВНЫХ ЦИФРОВЫХ СЕЙСМОГРАММАХ

Сейнасинов Н.А., Узбеков Р.Б., Рябенко О.В., Гордиенко Д.Д.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

В статье приведены результаты работ по созданию сейсмического бюллетеня землетрясений Центральной Азии по архивным цифровым сейсмограммам сети станций ИГИ НЯЦ РК за 1994–2002 гг. Приводится методика обработки данных, описаны результаты обработки, а также описан круг задач для применения бюллетеня. Созданный бюллетень активно используется в ряде задач сейсмологии, например, для оценки сейсмической опасности районов Казахстана, которые ранее считались асейсмичными, мониторинга техногенной сейсмичности и др.

ВВЕДЕНИЕ

Центральная Азия является одним из самых сейсмически активных регионов мира. На рисунке 1 представлена карта эпицентров сильных землетрясений за период 1900–2018 гг. $M \geq 7,0$. Большинство из этих землетрясений сопровождалось жертвами и значительными разрушениями, например, Кашгарское землетрясение 1902 г. с $M_s=8,2$, Каратагское землетрясение 1907 г., Кеминское землетрясение 1911 г. с $M_s=8,2$, Копетдагское 1929 г., Ашхабадское 1948 г., Хаитское 1949 г., Иранские 1968 г. и 1978 г., землетрясения в Западном Иране 1990 г., в Северной Индии 1991 г., в Северном Иране 1997 г., в Пакистане 2005 г., в Гиндукуше 2015 г. и др.

В регионе находится несколько мегаполисов, кроме того, в Центральной Азии находится большое количество ответственных объектов, в том числе нефте- и газопроводы, исследовательские реакторы, Бущерская АЭС, хвостохранилища и др.

В связи с этим, оценка сейсмической опасности региона имеет первостепенное значение, для этой задачи необходимо использовать качественные сейсмические бюллетени за как можно больший период времени.

ЗАДАЧИ ПРОЕКТА CASHA-BU

Мониторинг сейсмичности на территории Центральной Азии начался с конца XIX века. В 1893 году был опубликован первый каталог землетрясений Российской империи, авторами которого явились И.В. Мушкетов и А. Орлов [1]. В 1901 году была открыта первая полноценная сейсмическая станция в г. Ташкент (Узбекистан). Это была первая сейсмическая станция в Центральной Азии. С 1901 по 1934 гг. последовательно стали создаваться сейсмические станции в Центральной Азии на территории Узбекистана, Кыргызстана, Казахстана. Это станции «Самарканд» (1925 г., Узбекистан), «Фрунзе» (сейчас

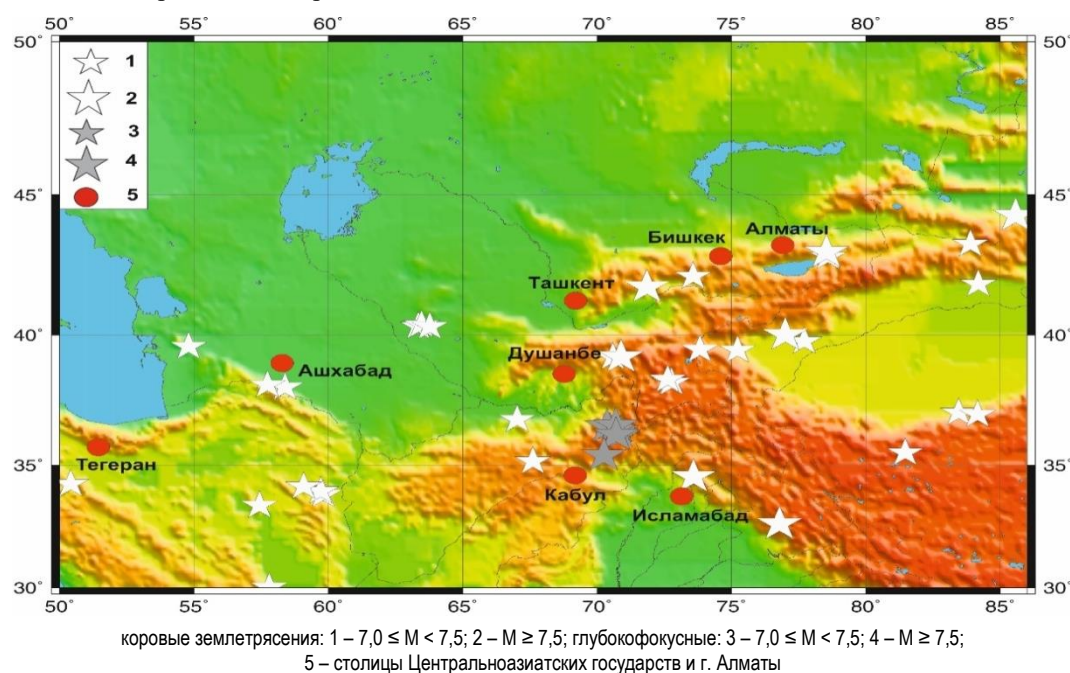


Рисунок 1. Карта эпицентров сильных землетрясений Центральной Азии 1900–2018 гг. (по каталогу NEIC геофизической службы США)

«Бишкек») (1927 г., Кыргызстан), «Алма-Ата» (1927 г., Казахстан), «Чимкент» (1932 г., Казахстан), «Семипалатинск» (1934 г., Казахстан). Фактически к 1935 году была создана первая региональная сеть сейсмических наблюдений на этой территории. Станции стали регистрировать и обрабатывать сейсмические события, накапливать и архивировать сейсмические записи (сейсмограммы). В 50-х годах на территории Северного Тянь-Шаня была создана сеть мониторинга с использованием высокочувствительных станций. В середине 60-х годов XX столетия была создана Единая Система Сейсмических наблюдений СССР (ЕССН), которая выполняла роль методического координационного центра для всех региональных центров обработки, руководила сбором данных для публикации каталогов и бюллетеней. В 70-х–80-х годах XX столетия на территории СССР специально для осуществления сейсмических наблюдений были созданы такие подразделения, как сейсмологические опытно-методические экспедиции. Они отвечали за производство наблюдений и их обработку, ведение бюллетеней и каталогов, поддержку архивов сейсмограмм. Открывались новые станции, внедрялись новые методы обработки. К 1990 году развитие сейсмической сети на территории Центральной Азии достигло своего наивысшего расцвета. Этот период характеризуется наибольшим количеством станций на территории Средней Азии и Казахстана, однородностью получаемых данных, унифицированным представлением их в сводных по территории каталогах.

После распада СССР в 1991 году во многих республиках сейсмическая сеть стала деградировать. В каждой из стран были введены свои стандарты обработки данных, прекратился обмен данных, ухудшилось качество сейсмических бюллетеней. Потеря точности каталогов за период с начала 90-х до середины 2000-х до сих пор не восполнена, хотя эти данные имеют важное значение для вероятностной оценки сейсмической опасности территории Центральной Азии.

В 2018 году стартовал проект МНТЦ «CASHA-BU», целью проекта является сохранение в электронном виде имеющихся в архивах трёх стран (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан) сейсмических станционных бюллетеней, создание единого, унифицированного по параметрам сейсмического бюллетеня Центральной Азии. Сформированный на этих данных новый единый сейсмический каталог, а также проанализированные региональные записи сильных движений и база данных активных разломов Центральной Азии, будут использованы при вероятностной оценке сейсмической опасности территории стран региона.

Для оцифровки используются исторические бумажные бюллетени с 1951 года нескольких сейсмических сетей: Кыргызского Института сейсмологии НАН КР, Института сейсмологии/Сейсмологической опытно-методической экспедиции МОН РК, Таджик-

ского Института сейсмологии и сейсмостойкого строительства, Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ) Института физики Земли АН СССР. При инвентаризации имеющихся данных в различных организациях выяснилось, что содержится большое количество данных цифровых сейсмических станций, начиная с середины 90-х годов для которых сейсмический бюллетень не создавался вообще, было принято решение об обработке этих данных и создании бюллетеня.

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В советское время на территории Казахстана, кроме сейсмических станций сети ИС/COMЭ МОН РК и сети мониторинга КСЭ ИФЗ АН СССР, существовала сеть станций, относящаяся к Службе специального сейсмического контроля (ССК) СССР: Курчатов, Боровое, Актюбинск, Маканчи. Институт геофизических исследований был организован в 1993 году, в 1994 г. в состав Института были включены станции, ранее принадлежавшие ССК СССР, находившиеся на территории Казахстана. В 1994–1996 гг. на территории Казахстана совместно с LDEO и IRIS было размещено 5 трехкомпонентных широкополосных цифровых станций (AKT, BRV, KUR, MAK, TLG) и три малоапертурные сейсмические группы CHK, ZRN, VOS, в 1994–1996 гг. установлено 3 станции системы IRIS/IDA и IRIS/GSN (Боровое, Курчатов, Маканчи), в 1996 г. сейсмическая группа Курчатов-Крест, в 1997 г. трехкомпонентная сейсмическая станция Подгорное на Северном Тянь-Шане. В 1999 г. была построена и введена в эксплуатацию сейсмическая группа AFTAC: СГ Маканчи (PS23), в 2001 г. СГ Каратау, в 2002 г. СГ Боровое (AS057) [2, 3]. На рисунке 2 приведена карта расположения сейсмических станций ИГИ МЭ РК 1994–2002 гг. Все эти данные цифровые, однако, в то время (кроме сейсмических групп MKAR, KKAR, BVAR, которые изначально высылали данные в режиме реального времени) данные 3-х станций и СГ Боровое, Чкалово, Восточная, Зеренда, Курчатов приходили с задержкой по времени, и в связи с этим не обрабатывались.

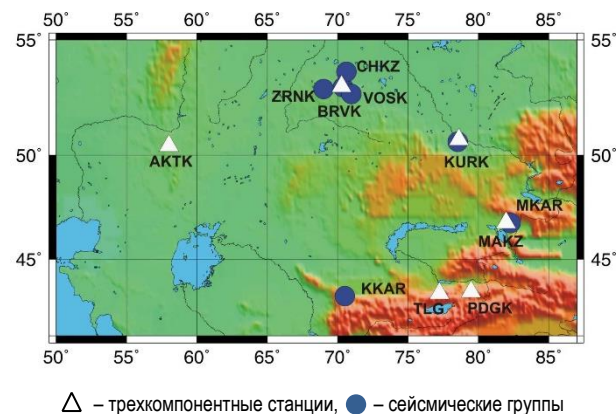


Рисунок 2. Карта расположения сейсмических станций ИГИ МЭ РК 1994–2002 гг.

В 1999 г. в г. Алматы был открыт Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, который стал в рамках Международной системы мониторинга (МСМ) выполнять функции Казахстанского Национального Центра данных [4]. Начиная с середины 2002 г. началось создание сейсмического бюллетеня и обмен данными с международными сейсмологическими Центрами, в частности с ISC [5].

Однако данные за период времени до 2002 года не были обработаны, не использованы для создания сейсмических бюллетеней, однако все были сохранены в формате SEED [6].

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В течение 2018 года сотрудниками КНЦД проводилась работа по составлению сейсмического бюллетеня исторических цифровых данных сети станций ИГИ МЭ РК за период времени 1994–2002 гг. Техника замеров была следующей:

- С CD-дисков был подгружен архив сейсмических записей трехкомпонентных станций по сети ИГИ НЯЦ РК (1994–2002 г.) в формате SEED. Отсутствующие в базе записи были подгружены из архива IRIS DMC.

- Данные были преобразованы в формат CSS3.0 [7], организована база данных по суткам.

- Для замеров кинематических и динамических параметров сейсмических записей использовался пакет программ DATASCOPE [8]. Замеры и ассоциация событий проводились при помощи программы dbpick и сохранялись в виде таблиц CSS3.0.

- Для ассоциации использовался каталог ЕМСА [9] и годограф IASPEI91 [5]. Для проассоциированных с каталогом событий проводились замеры времен вступлений, амплитуд и периодов основных региональных фаз: Pn, Pg, P, Sn, S, Lg.

После подготовки базы данных в формате CSS3.0 и выполнения основных этапов обработки, необходимо выполнить еще ряд мероприятий, чтобы в конечном итоге получить бюллетень сейсмических событий, в формате, принятом к использованию как в нашем Центре данных, так и в различных мировых сейсмологических организациях, для чего была написана специальная программа.

Основными задачами данной программы явились следующие:

- ассоциация сейсмических волн (Lg) с сейсмическими событиями, представленными в сейсмическом каталоге (таблице origin);

- обновление таблицы базы данных, которая определяет связь сейсмических событий с набором сейсмических волн данного события (таблица assoc) и создание таблицы со списком событий и связанных с ними решений (таблица event).

- генерация и обновление набора полей – порядковых номеров сейсмических событий и соответствующих им набору фаз, для ведения сквозной нумерации, в формате принятом в Центре данных;

- расчет энергетических параметров сейсмического события (магнитуд mb, mrv и энергетического класса);

- создание сейсмического бюллетеня в формате принятом международным сейсмологическим Центре – IMS1.0.

На первом этапе работы программы, сейсмические данные, в формате CSS3.0 загружаются в базу данных MySQL, имеющую аналогичную структуру – набор таблиц и полей. Далее необходимо определить для каких сейсмических событий в базе данных имеются не ассоциированные с ними сейсмические фазы. Получив список таких фаз, зная время сейсмического события в очаге и скорость распространения сейсмических волн и расстояние от эпицентра сейсмического события до станции определяем каким событиям соответствуют определенные фазы. Далее, создаются и обновляются таблицы, содержащие информацию об основных параметрах сейсмических событий, после чего становится возможным расчет энергетических параметров сейсмического события. Используя стандартные формулы расчета, зная амплитуды и периоды сейсмических волн вычисляются значения магнитуд (mb, mrv) и энергетического класса (K). После подготовки полноценной базы данных и выполнения необходимых вычислений создается текстовый файл – каталог сейсмических событий в международном формате IMS1.0.

На рисунке 3 представлен фрагмент бюллетеня одного события 5 февраля 1995 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ

Всего было проведено 63640 замеров для 9707 событий из региона Центральной Азии. На рисунке 4 представлена карта расположения обработанных событий, а также сейсмических станций, данные которых использовались в обработке. Сейсмические станции, работавшие в период времени 1994–2002 гг.: AKTK, BRVK, CHKZ, KKAR(KK31), KURK, MAKZ, MKAR (MK31), PDGK, TLG, VOSZ, ZRNZ. Диапазон магнитуд обработанных событий $mb=1,8 \div 7,4$, $Ms=2,0 \div 7,4$, энергетических классов $K=4 \div 16$. Обработанные события находились на эпицентральных расстояниях от 3 до 3190 км, на рисунке 5 представлена гистограмма распределения обработанных событий от эпицентральных расстояний.

Event 95036001 HINDU KUSH, AFGHANISTAN, REGION															
Date	1995/02/05	Time	03:53:44.00	Err	-1.00	RMS	5.82	Latitude	36.4900	Longitude	70.4400	Smaj	-1.0	Smin	-1.0
Author	1	Se	95036001					Az	215.0	Depth	-1.0	Err	-1	Nsta	0
								Gap	295	mdist	8.53	Mdist	16.57	Qu	a
Magnitudes															
mb	4.12														
mpv	3.90														
Class	-														
Sta	Dist	EvAZ	Phase	Time	Tres	Azim	AzRes	Slow	SRes	Def	SNR	Amp	Per	Qual	mb
mpva	12.05	Class	ArrID												
TLG	8.53	35.5	Pn	03:55:45.357	1.4							138.6	0.80	mc_	4.43
5.39			50360001												
TLG	8.53	35.5	S	03:57:04.502	-16.1							21.4	0.80	mc_	
			50360003												
BRVK	16.57	359.7	Pn	03:57:25.362	1.0							10.2	0.44	md_	3.80
			50360006												
ZRNZ	16.49	356.9	Pn	03:57:24.361	0.9							3.6	0.35	md_	3.44
			50360008												
ZRNZ	16.49	356.9	S	04:00:22.127	-2.2							22.4	1.35	md_	
			50360009												
AKTK	16.56	331.3	Pn	03:57:24.739	0.6							43.6	1.00	mc_	4.07
			50360012												
AKTK	16.56	331.3	S	04:00:24.440	-1.2							25.3	1.40	mc_	
			50360013												
BRVK	16.57	359.7	S	04:00:39.470	0.7							7.9	1.02	md_	
			50360014												

Рисунок 3. Фрагмент бюллетеня в формате IMS1.0

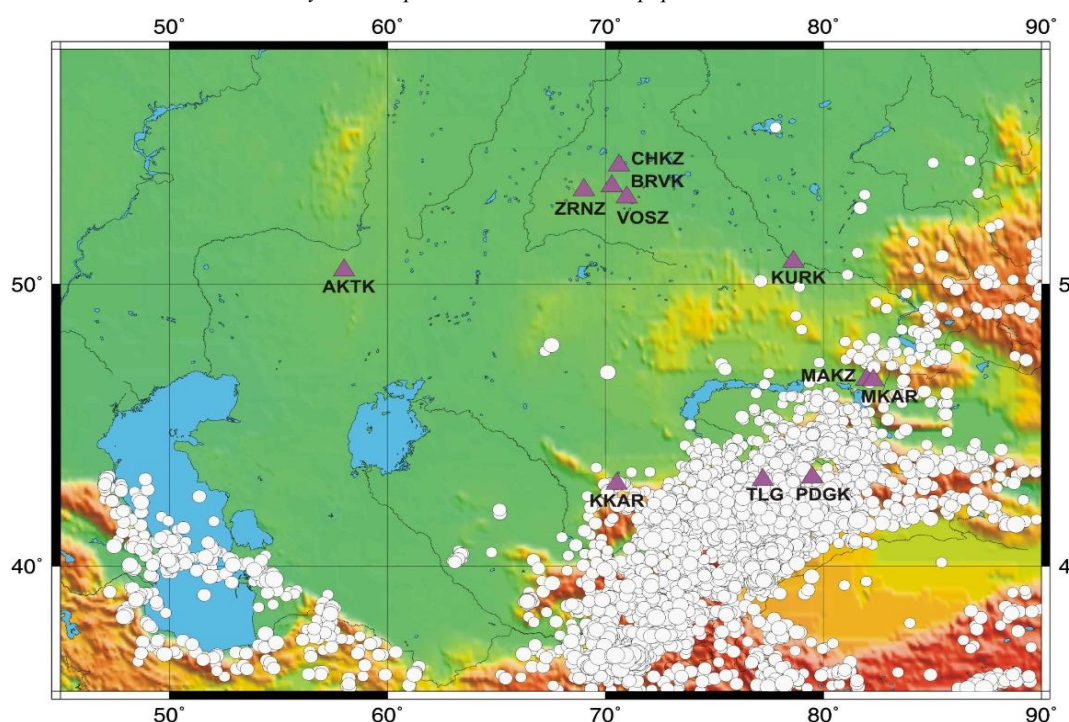


Рисунок 4. Карта расположения эпицентров обработанных сейсмических событий – ○ (размер кружка пропорционален магнитуде), сейсмических станций (▲)

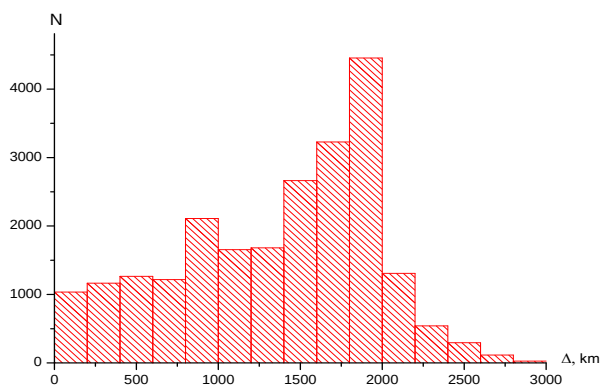


Рисунок 5. Гистограмма распределения эпицентральных расстояний для сейсмических событий, для которых проведена обработка за период с 27.07.1994 г. по 30.06 2002 г.

Основные задачи сети сейсмических наблюдений ИГИ на территории Казахстана заключаются в следующем:

1. Сеть станций участвует в глобальном мониторинге ядерных испытаний в поддержку Договора ДВЗЯИ.
2. Центр данных обеспечивает оперативную обработку данных по сильным землетрясениям и срочное оповещение о них республиканских и местных органов власти, комитета по чрезвычайным ситуациям для принятия необходимых мер.
3. Ведется составление каталога землетрясений для оценки сейсмической опасности и составления карт сейсмического зонирования разного масштаба (общее для всей страны, микрорайонирование для больших городов).

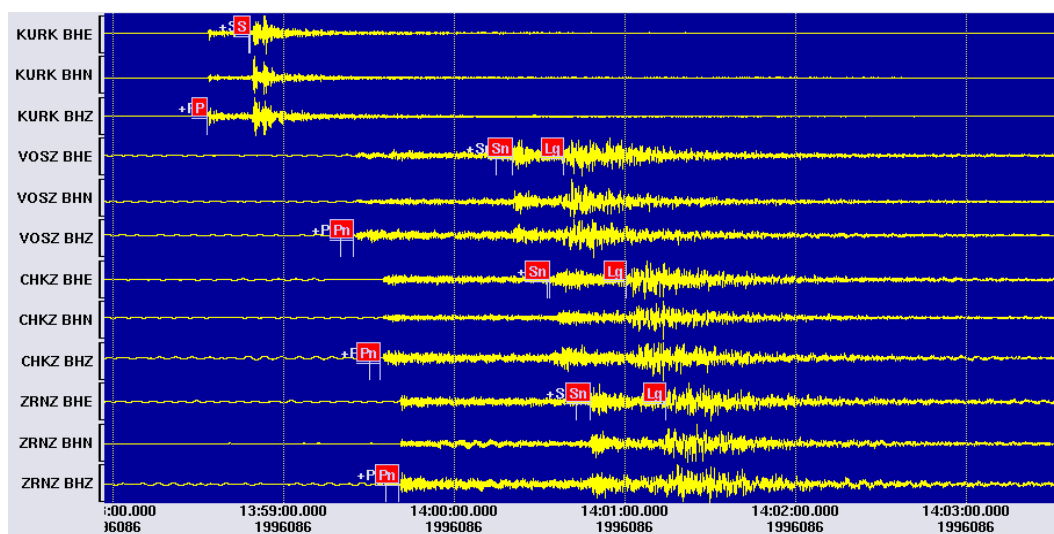


Рисунок 6. Обработанные сейсмограммы землетрясения на СИП 1996-03-26, $t_0=13:58:13$, $\varphi=50,085^\circ\text{N}$ $\lambda=77,097^\circ\text{E}$ по станциям ИГИ МЭ РК

4. Мониторинг в районе ответственных объектов атомной отрасли служит задачам снижения риска возникновения катастроф (ядерные реакторы, места захоронения ядерных отходов, места ранее проведенных ядерных испытаний).

5. Осуществляет мониторинг техногенной сейсмичности в местах добычи углеводородного сырья, разработки рудных полезных ископаемых, вблизи водохранилищ.

6. Мониторинг сетью станций сильных движений способствует совершенствованию методов расчета сейсмостойких сооружений и конструкций в целях снижения ущерба при сильных землетрясениях и обеспечения сейсмобезопасности.

7. Данные сети станций используются для фундаментальных и прикладных исследований по различным проблемам геодинамики, физики очага и др.

Созданный бюллетень начал активно использоваться в ряде задач сейсмологии. Например, для оценки сейсмической опасности районов Казахстана, которые раньше считались асейсмичными и мало сейсмичными [10]. На рисунке 6 приведены обработанные записи землетрясения на СИП 1996-03-26, $t_0=13:58:13$, $\varphi=50,085^\circ\text{N}$, $\lambda=77,097^\circ\text{E}$. Самая ближайшая станция – Курчатов находилась на эпицентральнойном расстоянии 129 км, в городе Курчатов землетрясение ощущалось с интенсивностью 3–4 балла. Для этого землетрясения удалось построить спектры реакции (рисунок 7, таблица).

Таблица. Параметры записи сильных движений, землетрясения на СИП 1996-03-26

Станция	Расстояние, км	I_0	А см/с ²			V см/с			T(A)	T(V)
			E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
KURK	129	3	0,4	0,5	0,3	0,02	0,02	0,01	0,22	0,22

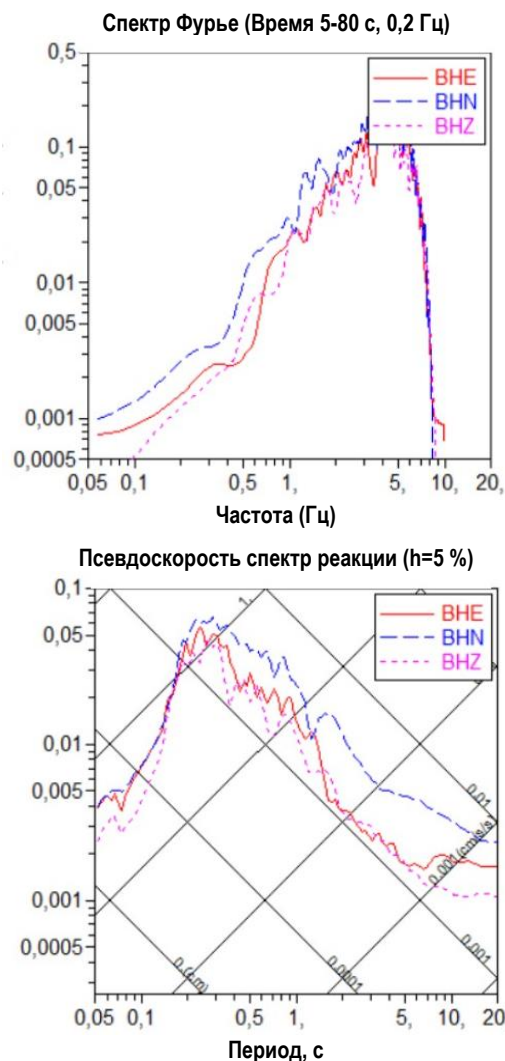


Рисунок 7. Спектры реакции землетрясения 26.3.1996 г. в 13:58:13 (станция KURK)

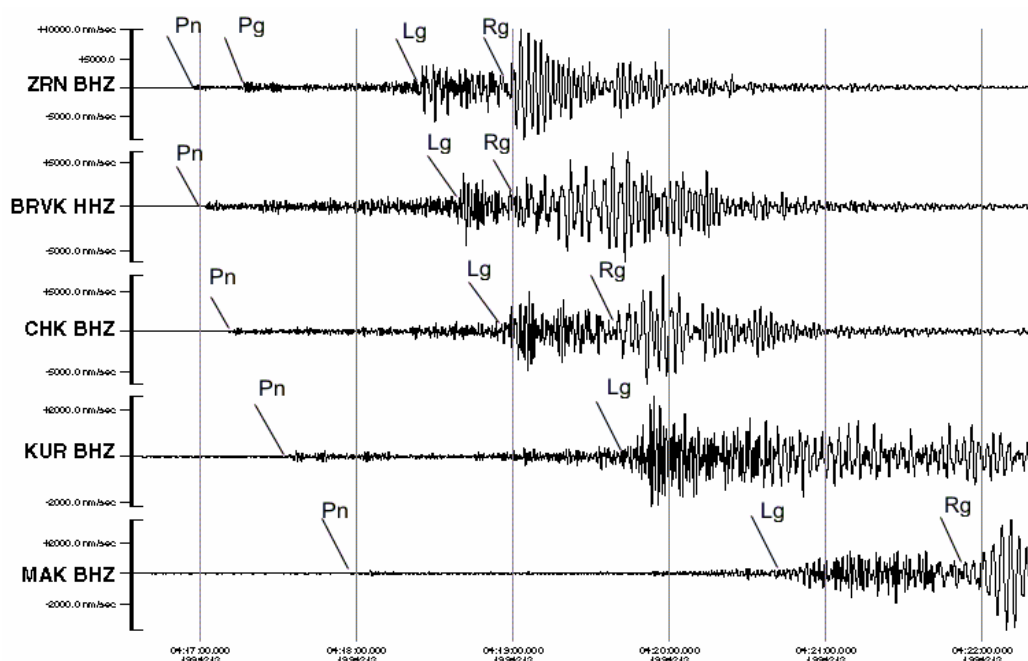


Рисунок 8. Сейсмическая запись события 01.09.1994 г. $t_0=04-15-39.7$, $\varphi=47,833^\circ$, $\lambda=67,451^\circ$, $m_b=4,7$, $K=12,2$. По сети станций ИГИ МЭ РК. Z-компоненты

Кроме того, на территории Казахстана, в промышленных районах происходят техногенные и природно-техногенные землетрясения. Одно из них, наиболее сильное произошло 1 августа 1994 года $t_0=04-15-39.7$ вблизи Джезказгана $\varphi=47,833^\circ$, $\lambda=67,451^\circ$ с магнитудой $M_w=4,7$ [11]. На рисунке 8 приведены его сейсмические записи. Известно, что это событие было техногенным землетрясением на территории Жезказганского месторождения. Обрушение вызвало разрушения множества действующих подземных выработок и зданий на поверхности, количество жертв – 6 человек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создан сейсмический бюллетень землетрясений территории Центральной Азии по данным архив-

ных цифровых сейсмических записей сети ИГИ МЭ РК. Всего обработано ~10000 событий на региональных эпицентральных расстояниях.

2. Полученные данные будут использованы для уточнения сейсмического каталога для Центральной Азии с добавлением данных других сетей мониторинга (КИС НАН КР, СОМЭ МОН РК), при помощи программного обеспечения iLOC.

3. Обработанные данные используются в КНИЦ для ряда задач: оценки сейсмической опасности, мониторинга техногенной сейсмичности и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического Центра (грант МНТЦ КР# 2398).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мушкетов, И. Каталог землетрясений Российской империи / И. Мушкетов, А. Орлов. // Санкт-Петербург: Типография императорской Академии наук, 1803. – 299 с.
2. Михайлова, Н.Н. Казахстанская система мониторинга Института геофизических исследований Национального ядерного центра и ее возможности. Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана / Н.Н. Михайлова, З.И. Синева, И.Н. Соколова // РЦСС НАНА. – 2012. – С. 329–336.
3. Сейнасинов, Н.А. Система контроля качества данных в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации / Н.А. Сейнасинов, Д. Д. Гордиенко // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 2. – С. 113–118.
4. Беляшова, Н.Н. Вместе с организацией по договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний в поддержку безъядерного мира: 12 лет сотрудничества / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2008. – Вып. 2. – С. 5–15.
5. International Seismological Centr [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk>
6. Standart for the exchange of earthquake data. Reference Manual. SEED Format Version 2.3. IRIS, 1993. [Электронный ресурс, 1993] – Режим доступа: http://www.geoinstr.com/pub/manuals/t_seed.pdf
7. Anderson, J.. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual. / J. Anderson, W.E. Farell et al. // Technical Report C90-01, Arlington 1990.
8. The Antelope Relational Database System Datascope: A tutorial [Электронный ресурс, 2002] – Режим доступа: <http://www.brtt.com/docs/datascope.pdf>

9. Михайлова, Н.Н. Унифицированный каталог землетрясений территории Республики Казахстан и прилегающих регионов (с древнейших времён до 2009 г.) / Н.Н. Михайлова, И.Л. Аристова, А.С. Мукамбаев // Вестник НЯЦ РК. - 2015. - Вып. 4. - С. 132–143.
10. Михайлова, Н.Н. Сейсмические данные станций НЯЦ РК для решения проблем сейсмобезопасности Казахстана / Н.Н. Михайлова. // Вестник НЯЦ РК. 2008. Выпуск 2. С 79–84.
11. Соколова И.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана / Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. // Вестник НЯЦ РК. - 2017. - Вып. 2. - С. 47–57.

МҰРАҒАТТЫҚ ЦИФРЛЫҚ СЕЙСОГРАММАЛАРДА АЛЫНҒАН МОНИТОРИНГІ МІНДЕТТЕРІ ҮШІН ЖАҢА ДАРЕКТЕР

Н.А. Сейнасинов, Р.Б. Узбеков, О.В. Рябенко, Д.Д. Гордиенко

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада, ҚР ҰЯО РМК станциялары желісінің 1994–2002 жылдардың мұрағаттық цифрлық сейсмограммалары бойынша, Орталық Азияның сейсмикалық бюллетенін жасау бойынша жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Деректерді өңдеу әдістемесі келтіріледі, өңдеу нәтижелері сипатталған, сондай-ақ бюллетеньді қолдану үшін міндеттер шеңбері сипатталған. Жасалған бюллетень сейсмологияның бір қатар міндеттерінде белсенді пайдалануда, мысалы, бұрын асейсмикалық болып саналатын, Қазақстан аудандарының сейсмикалық қауіпін бағалау, техногендік сейсмикалықтың мониторингі ж.б. үшін.

NEW DATA FOR THE MONITORING TASKS OBTAINED AT ARCHIVE DIGITAL SEISMOGRAMS

N.A. Seinasinov, R.B. Uzbekov, O.V. Ryabenko, D.D. Gordiyenko

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of works on creation of a seismic bulletin of earthquakes in Central Asia based on archive digital seismograms of IGR NNC RK stations network for the period of 1994–2002. The methodology of data processing is provided, the processing results as well as the tasks for application of the bulletin are described. The created bulletin is actively used in a number of seismology tasks, for instance, to assess seismic hazard of Kazakhstani regions, which previously were considered aseismic ones, also to monitor technogenic seismicity, etc.