

УДК 550.34:681.3

ОБРАБОТКА ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НЯЦ РК

Михайлова Н.Н., Синева З.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В 2001 г. в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации ИГИ НЯЦ разработана и реализована технология обработки сейсмических данных, поступающих в режиме реального времени, в разных режимах оперативности: для службы срочных донесений, для автоматического сейсмологического бюллетеня, для оперативного сейсмологического бюллетеня. Используются и адаптированы как существующие программные пакеты, так и написанные и протестированные новые программы.

Одной из основных задач Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСИ) является обработка данных сети сейсмических станций. При этом, как правило, требуется обработка в разных режимах оперативности, вследствие чего специфичными являются объемы используемых данных, режимы их поступления, методика и программные средства.

К таким различным по степени оперативности видам обработки данных относится следующее.

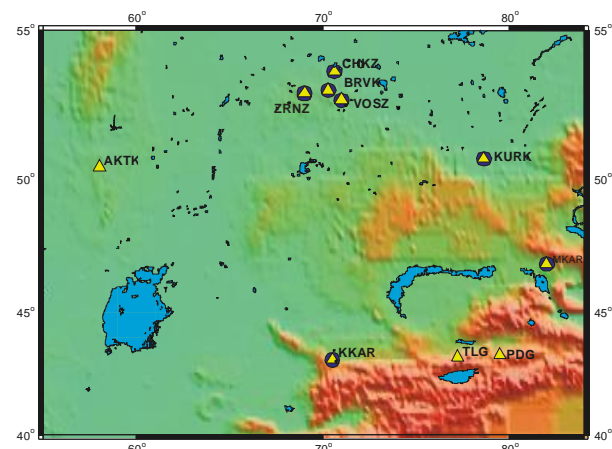
Во-первых, это обработка сильных событий незамедлительно после поступления данных в Центр с целью создания сводки срочных донесений и обмена этими данными с другими Центрами и организациями. Во-вторых, это обработка событий в автоматическом режиме для создания сейсмологического бюллетеня непосредственно после поступления данных и завершения работы программ обработки. Приведенные в автоматическом бюллетене решения могут считаться первым приближением в оценке основных параметров землетрясений или взрывов. В третьих, это создание оперативного бюллетеня сейсмических событий с участием аналитика Центра, который производит обработку данных с опозданием на несколько суток. Четвертым видом обработки является обработка для создания окончательного сейсмологического бюллетеня. Она производится с несколько большим запозданием, поскольку требует получения данных от ряда станций, не связанных с Центром какими-либо каналами связи. Данные с них пересылаются по почте за месяц и более, что связано со временем накопления на дисках определенного объема информации. Для окончательного бюллетеня используются также данные некоторых станций других организаций.

Три первых вида обработки производится с данными, которые поступают в Центр данных по каналам спутниковой связи в реальном времени. Именно этим видам обработки посвящена настоящая статья.

В 2001 г. в Центр данных в г. Алматы в реальном времени поступали данные сейсмической группы Маканчи (девять однокомпонентных вертикальных станций и две трехкомпонентные станции), сейсмической группы Каратау (конфигурация аналогична Маканчи), двух трехкомпонентных станций IRIS/IDA Боровое и Курчатова, станций большебазовой сейсмической группы Боровое – Зеренда, Чкалово и Восточное и центрального пункта Боровое (Рис. 1).

Обработка этих данных производится в несколько этапов:

- обнаружение вступлений и определение параметров сигнала;
- автоматическая локализация событий;
- срочная обработка сильных событий;
- оставление оперативного бюллетеня.



▲ сейсмические станции сети НЯЦ РК
● станции, передающие информацию в режиме реального времени

Рисунок 1. Региональная система сейсмологических наблюдений НЯЦ РК

В конце 2000 г. специалистами Норвежского центра НОРСАР в ЦСОСИ было установлено программное обеспечение, позволяющее производить обработку данных сейсмических групп в режиме, близком к реальному времени. В течение 2001 года производилась настройка и адаптация этого программного обеспечения к условиям казахстанской сети. Для обработки были использованы и адаптированы так же другие существующие программы (DP/EP, GBF, GEOTOOL, dbpick и др.). Дополнительно специально были написаны и протестированные новые программы (alarm_check, alarm_prock, clin, delay_check и др.). Это программное обеспечение используется в разной степени на всех этапах обработки для решения трех вышеперечисленных задач.

Рассмотрим более подробно методику обработки и технологию реализации каждого этапа.

ОБНАРУЖЕНИЕ ВСТУПЛЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

В задачу этого этапа входит автоматическое обнаружение (детектирование) сигнала на фоне сейсмического шума и определение параметров сигнала.

Детектирование вступлений для сейсмических групп и отдельных трехкомпонентных станций производится по-разному.

Детектирование вступлений сейсмических групп. Одним из преимуществ сейсмических групп по сравнению с отдельными станциями является возможность повысить способность обнаружения сейсмических сигналов за счет суммирования отдельных трасс сейсмической группы. Например, если известны координаты события и скорость волны, можно рассчитать для каждого элемента сейсмической группы время прихода этой волны. Естественно, оно будет различным для разных элементов группы. После этого, можно сложить все трассы данной сейсмической группы со смещением, равным разности времени прихода этой волны на каждый элемент. Теоретически доказано, что в этом случае достигается значительное усиление отношения сигнал/шум для данного вступления. Конечно, во время рутинной обработки заранее неизвестно, откуда может прийти сигнал, поэтому поступают следующим образом. Рассчитываются смещения трасс для событий, приходящих из самых разных направлений и на самых разных расстояниях, после чего трассы суммируются с вычисленными смещениями по времени, т.е. формируются так называемые «лучи детектирования» (detection beams). Кроме того, как известно, разные сейсмические фазы имеют различную частоту, поэтому они лучше детектируются на различных фильтрах. Поэтому, сформированные «лучи детектирования» предварительно фильтруются.

Всего таким образом постоянно в реальном времени для каждой сейсмической группы, формируются 290 лучей, по которым производится детектирование. В процессе детектирования используются вертикальные компоненты записей всех элементов группы.

Детектирование вступлений трехкомпонентных станций. В случае трехкомпонентных станций детектирование производится как по вертикальной, так и по горизонтальным компонентам.

После того, как произошло детектирование сигнала, производится его обработка, т.е. методом частотно-волнового анализа (f-k analysis) определяются азимут и кажущаяся скорость сигнала, а также амплитуда, ведущая частота и ряд других параметров. Этот анализ выполняется с помощью программы DP/EP [1].

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ И СОЗДАНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

Автоматическая локализация осуществляется с помощью программы GBF [2], предоставленной сотрудниками Норвежского центра НОРСАР. Работа программы происходит в три этапа. На первом этапе используются результаты обработки вступлений и производится их идентификация, то есть, определяется тип волны: P, Pn, Sn, Lg, Rg для региональных сигналов или ложное детектирование. Причем, к одному вступлению может быть отнесено несколько типов волн, например, P и Pn, или Sn и Lg. Если друг за другом идет несколько вступлений с близкими азимутами и кажущимися скоростями, то в последующей обработке участвует только первое вступление, а последующие считаются принадлежащими коде этой волны.

На втором этапе производится собственно поиск решения по локализации события, которому принадлежат выделенные и идентифицированные вступления сейсмических фаз. Земная поверхность разбивается равномерной сетью. В Центре данных выбраны следующие параметры сети.

Центр сети: 50° северной широты, 75° восточной долготы.

Расстояние между узлами сети – 1,5°.

Число узлов решетки – 82 по широте и 54 по долготы.

Производится перебор всех вступлений для каждого узла решетки. Если для какого-либо узла решетки находится более, чем одно подходящее вступление (например две или более P волн от разных станций или Pn и Lg волна от одной станции), то в районе этого узла решетки производится еще один поиск по более частой сети. В нашем случае расстояние между узлами второй решетки составляет 0.1°. В результате выбираются координаты того узла решетки, где получается минимальная невязка по временам прихода и азимутам подхода ассоциированных вступлений. Результаты этого анализа записываются в промежуточный файл.

На третьем этапе производится отбраковка тех решений, у которых невязки получились слишком большими, рассчитываются магнитуды событий и, наконец, производится запись результатов локализации события в базу данных в формате CSS3.0. Тем самым, заканчивается обработка данных для создания автоматического сейсмологического бюллетеня. Этот бюллетень в режиме близком к реальному времени, помещается на веб-сайт ЦСОССИ. Ниже, на рисунке 2, приведен фрагмент сейсмологического бюллетеня, полученного в автоматическом режиме и приведенного на веб-сайте.

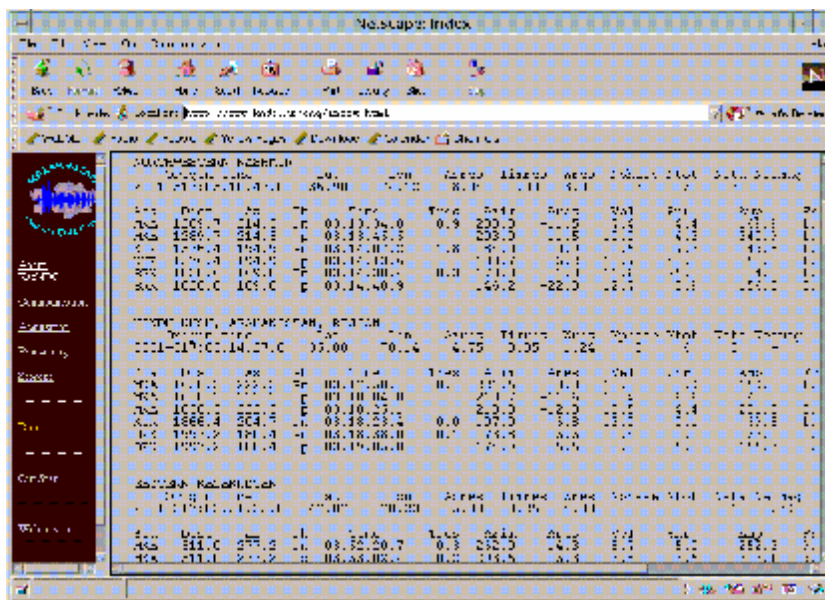


Рисунок 2. Фрагмент страницы веб-сайта ЦСОСЦИ (www.kndc.kz), с результатами автоматической обработки сейсмических данных

СРОЧНАЯ ОБРАБОТКА СИЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

Практика работ комплексов автоматической обработки сейсмических данных во всем мире показывает, что автоматическая обработка еще весьма далека от совершенства. Часто происходят ошибки в определении времен вступлений сейсмических фаз, в идентификации фаз, очень часто программы ассоциируют вступления от разных событий в одно. Поэтому результаты автоматической обработки должны проверяться человеком.

В ЦСОСЦИ такая проверка осуществляется двумя способами в целях осуществления:

- срочной обработки сильных событий;
- составления оперативного бюллетеня событий.

Рассмотрим, как организована обработка сильных событий в ЦСОСЦИ.

В 2001 г. здесь был разработан и проходил тестирование программный комплекс, предназначенный для осуществления функций службы срочных донесений. Работа комплекса организована в два этапа.

На первом этапе программным путем происходит постоянный просмотр всех новых автоматически обнаруженных вступлений. У каждого вступления проверяются два параметра: амплитуда вступления и когерентность сигнала по результатам частотно-волнового анализа. Для каждой станции экспериментально были установлены пороговые значения этих параметров. Например, для сейсмической группы Маканчи пороговыми значениями являются 900 отсчетов по амплитуде, и 0,60 – для уровня когерентности сигнала. Если у какого-либо вступления превышены пороговые значения обоих параметров, то срабатывает звуковой сигнал, оповещающий аналитиков Центра о том, что произошло сильное событие.

После получения сигнала оповещения производится срочная обработка данных, в результате которой формируется сводка срочных донесений в коде МСК-85, производится срочная локализация региональных сильных событий аналитиком. В 2001 году было достигнуто соглашение с Геофизической службой РАН об обмене срочными донесениями. Поэтому производится отправка сводки в службу срочных донесений Сейсмологического информационного центра Геофизической службы РАН в г. Обнинск. Из Обнинска по электронной почте в ЦСОСЦИ поступает результат обработки данных по этому событию, полученный с участием казахстанских, российских и некоторых зарубежных сейсмических станций.

СОСТАВЛЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

Наиболее полная и точная информация по результатам обработки данных, поступающих в режиме реального времени, содержится в оперативном сейсмологическом бюллетене. Каждую ночь специальная программа готовит базу данных, в которую включаются все данные, пришедшие за прошедшие сутки, а также результаты их автоматической обработки. Составление оперативного бюллетеня происходит в два этапа.

На первом этапе дежурный аналитик просматривает исходные записи и проверяет правильность автоматически расставленных вступлений. Он корректирует времена вступлений, переименовывает неправильно распознанные фазы, добавляет новые вступления. На следующем этапе, с помощью программы GEOTOOL аналитик производит локализацию событий. На этом этапе аналитик так же определяет азимут и «медленность» для фаз,

расставленных вручную. Результаты локализации хранятся в виде суточных файлов в формате CSS3.0.

Регулярное составление оперативного сейсмологического бюллетеня началось осенью 2001 г. Надо отметить, что в сейсмологический бюллетень включаются как данные по землетрясениям, так и по промышленным взрывам.

На рисунке 3 приведена карта эпицентров землетрясений и промышленных взрывов за последние три месяца 2001 г. За этот период было обработано и локализовано 2459 сейсмических событий, т.е. в среднем около 27 событий в день. Станция ККАР была введена в действие в конце 2001 г., поэтому данные этой станции стали участвовать в составлении бюллетеня только начиная с 17 декабря 2001 года.

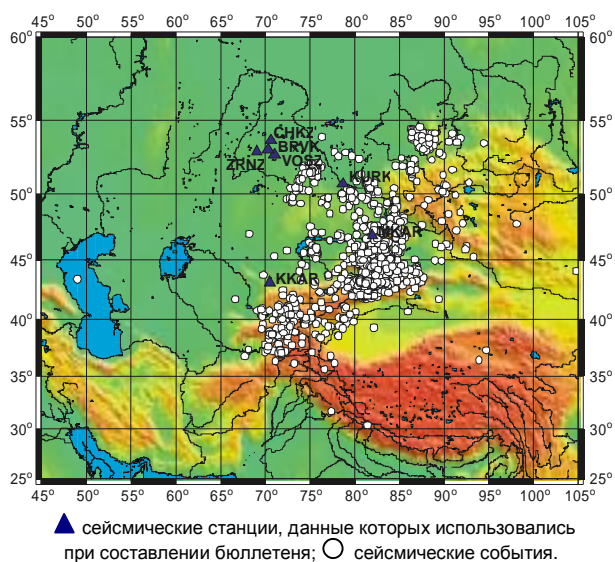


Рисунок 3. Карта эпицентров землетрясений и промышленных взрывов, по данным оперативного бюллетеня ЦСОССИ за октябрь - декабрь 2001г.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И РУЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Поскольку описанная технология обработки в Центре данных реализована впервые, необходимо было проверить, насколько правильно и полно автоматическая и ручная обработка осуществляют детектирование сейсмических событий на фоне шума, насколько результаты соответствуют реальным эпицентрам.

Для проведения анализа были просмотрены записи по сейсмической группе Маканчи за 9 дней (244 - 252 день) 2001 г. Производилось сравнение полученных в результате автоматической обработки данных с данными каталога REB Международного Центра данных (ИДЦ) и некоторыми местными каталогами за выбранный период времени. Ассоциирование производилось с двумя типами данных: с результатами автоматической обработки по группе Маканчи и с результатами ручной обработки данных. Всего за исследуемый период было проассо-

цированы 164 события. В таблице 1 приводится количество проассоциированных фаз по результатам ручной и автоматической обработки.

Таблица 1. Количество сейсмических фаз, используемых при анализе

Тип волны	Количество вступлений,	
	автоматическая обработка	ручная обработка
Pn	33	36
P	118	128
Sn	11	19
Lg	12	18

Из таблицы видно, что в то время, как для волн P и Pn наблюдается довольно большой процент автоматически обнаруженных вступлений по сравнению с ручным обнаружением, для Lg и, особенно для Sn волн, автоматическая обработка делает много пропусков. Это можно объяснить тем, что в настоящее время при автоматическом детектировании фаз используются только вертикальные короткопериодные компоненты, а при ручной обработке аналитик пользуется также данными широкополосного трехкомпонентного сейсмометра.

Для каждого вступления, проассоциированного с событием из каталога, было рассчитано отклонение экспериментально определенного азимута от «истинного» азимута в градусах.

В таблице 2 приведены основные статистические результаты этого сравнения.

Таблица 2. Статистические параметры невязок определения азимута

Тип волны	Кол-во фаз	Медиана	Процентиль, 15%	Процентиль, 85%
Pn, авто.	33	2,26	-5,532	12,508
Pn, ручное	33	2,79	-4,9958	8,061
P, авто.	118	2,935	-9,4455	8,9845
P, ручное	118	2,80555	-6,71595	8,806045
Sn, авто.	11	1,33	-1,96	28,27
Sn, ручное	11	1,541	-2,295	30,4155
Lg, авто.	12	-1,995	-6,679	4,1205
Lg, ручное	12	-0,9395	-7,40885	3,55635

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что точность оценки азимутов, полученных автоматически и вручную, сравнимы. Для Pn и P волн ручное определение дает немного лучшие результаты, но незначительно. Для Sn волны – ручное определение даже несколько увеличило разброс. По Lg волне – ручное определение не изменило разброс, но привело к сдвигу как среднего, так и границ примерно на 1 градус.

Для трех фаз (Pn, P, Lg) разброс в определении азимута не превышает ± 10 градусов, что является допустимым. Для Sn волны – наблюдается довольно большой разброс как при автоматическом, так и при ручном определении азимута.

На рисунке 4 приведен график зависимости расхождений в определении азимута от расстояния для телесеismicкой P волны. На этом графике пока-

зания, находящиеся на одном расстоянии от станции, соответствуют одному и тому же событию. Из рисунка 4 видно, что для станции Маканчи не наблюдается систематических отклонений в определении азимута от разных расстояний.

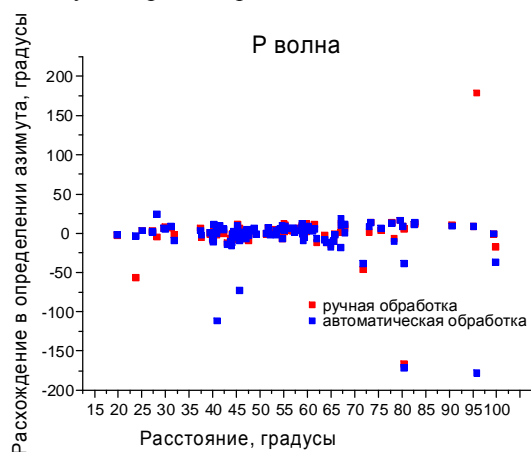


Рисунок 4. Расхождение в определении азимута в зависимости от расстояния. P волна

Тем самым показано, что результаты ручного и автоматического определения азимутов в большинстве случаев достаточно близки. В некоторых случаях ручное определение несколько улучшает данные (преимущественно для P и Pn волн), но иногда отмечаются большие выски автоматических определений, которые следует рассматривать специально. В целом, результатам автоматического определения параметров можно доверять и их можно использовать в процессе дальнейшей интерактивной обработки данных.

Таким образом, завершен первый этап создания в Центре данных технологии автоматической и интерактивной обработки данных, поступающих в реальном времени, для организации службы срочных дозвонений и оперативного бюллетеня. В результате функционирования этой системы будет набрана статистика для всесторонней оценки точности локализации и определений других параметров сейсмических источников, важной как с методической точки зрения для совершенствования системы, так и для повышения эффективности сейсмического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fyen J., Event processor program package. In: NORSAR Semiannual Technical Summary. 1 Oct 1988 – 31 Mar 1989. Scientific Report 2-88/89, Kjeller, Norway).
2. Kvaerna, T., Initial results from global Generalized Beamforming. In: NORSAR Semiannual Technical Summary, 1 Apr – 30 Sep 1992, NORSAR Sci. Rep. 1-92/93, NORSAR, Kjeller, Norway)

ҚР ҰАО СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІН ӨНДЕУ

Н.Н. Михайлова, З.И. Синева

ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова қ.

2001 ж. ҰАО ГЗИ Арнаулы сейсмикалық апаратын жинау және өңдеу орталығында, нақты уақытында, жеделдіктің әртүрлі режімінде түсетін сейсмикалық деректерін өңдеу технологиясы әзірленіп іске асырылған: жедел хабарлау қызметі, автоматикалық сейсмологиялық бюллетенінің құру, жеделдік сейсмологиялық бюллетенінің құру үшін. Бұрын болған программалық дестелері, сондай-ақ жазылған және тестіленген жаңа программалар қолданылған және бейімделген.

THE NNC RK SEISMIC STATIONS DATA PROCESSING

N.N. Mikhailova, Z.I. Sinyova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

In 2001, the IGR NNC Center for Special Seismic Information Acquisition and Processing developed and realized the processing technology of the seismic data entering in real time operational mode, in various modes of efficacy: for urgent reports service, for automatic seismological bulletin compiling, and for on-line seismological bulletin. As existing program packages so written and tested new programs are used and adapted.