

ҮЧ БӨЛҮКТҮҮ СТАНЦИЯ СЕЙСМИКАЛЫК МААЛЫМАТ ЧОГУЛУШ, ӨНҮКТҮРҮҮ МЕТОДОРУ ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Шаякубова М.З.

(PhD) Өзбекстан Республикасынын Илимдер академиясынын Сейсмология институтунун докторанты, muxtabar.muxtabar.shayakubova@mail.ru

Аннотация. Сейсмикалык окуяларды аныктоо тутуму үч компоненттүү станция маалыматтарынын негизинде сейсмикалык окуяларды каттоого байланыштуу көйгөйлөрдү чечүү үчүн колдонулушу мүмкүн, ал бир станциядан үч компоненттүү жазууларды анализдөө менен сейсмикалык окуяларды автоматтык түрдө аныктайт. Маалыматтык иштетүү үчүн пайдалуу сигнал чыгаруу алгоритмдерин жана программаларын түзүү, сейсмикалык толкундардын келишинин убактысын, максималдуу амплитудалык маанилерин, термелүүнүн ылайыктуу мезгилин жана жер титирөө жайгашкан жердин координаттарын аныктоо үчүн методикалык иштеп чыгуулар талап кылынат.

Үч компоненттүү станциялардын маалыматтарынын негизинде сейсмикалык объекттердин жайгашкан жерин автоматтык түрдө аныктоо тутумун иштеп чыгуу ушул көйгөйдү чечүүгө багытталган.

Ачык сөздөр: үч компоненттүү, маалыматтар, автоматтык, иштетүү, анализ, алгоритм, программа, сигнал, толкун, амплитуда, термелүүлөр, координаттар, жер титирөөлөр.

METHODS AND TECHNOLOGIES OF COLLECTION, PROCESSING OF SEISMIC DATA ON A THREE-COMPONENT STATION

Shayakubova M.Z.

(PhD) doctoral student of the Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, muxtabar.muxtabar.shayakubova@mail.ru

Annotation. Based on data from a three-component station, a seismic event detection system can be used to solve seismic event recording problems, which automatically locates seismic events by analyzing three-component records from one station. Information processing requires methodological developments related to the creation of algorithms and programs for extracting a useful signal, determining the arrival time of seismic waves, the values of the maximum amplitudes, the corresponding oscillation period and the coordinates of the earthquake location.

The development of a system for automatic determination of the location of seismic objects based on the data of three-component stations is aimed at solving this problem.

Key words: three-component, data, automatic, processing, analysis, algorithm, program, signal, wave, amplitude, oscillations, coordinate, earthquakes.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СБОРА, ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАНЫХ ПО ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СТАНЦИИ

Шаякубова М.З.

(PhD) докторант Института сейсмологии АН РУз, muxtabar.muxtabar.shayakubova@mail.ru

***Аннотация.** На основе данных трехкомпонентной станции можно использовать систему обнаружения сейсмических событий для решения проблем записи сейсмических событий, которая автоматически определяет местоположение сейсмических событий путем анализа трехкомпонентных записей одной станции. Обработка информации требует методических разработок, связанных с созданием алгоритмов и программ выделения полезного сигнала, определения времени вступлений сейсмических волн, величин максимальных амплитуд, соответствующего периода колебаний и координат местоположения землетрясения.*

На решение этой проблемы направлена разработка системы автоматического определения местоположения сейсмических объектов на основе данных трехкомпонентных станций.

***Ключевые слова:** трехкомпонентный, данные, автоматический, обработки, анализ, алгоритм, программа, сигнал, волна, амплитуда, колебания, координата, землетрясения.*

Введение. В разработке системы автоматической локации сейсмических событий по данным трехкомпонентной станции проводили научные исследования ведущих мировых исследовательских центров и высших учебных заведений, в том числе научные исследования во многих сейсмически активных странах по всему миру: Matthew Richard Ages, Xuemin Zhang, Xuhui Shen, A.Shchennikov, Z.Tang, I.Podsklan, М.А. Хритов, Н.А. Гилев, В.Г.Катренко, Х.М.Исмаилов, С.А.Черменцев, Т.У.Артиков, А.И.Ибрагимов и другие.

В рамках работы, проведенной в Вычислительном центре была разработана система автоматизации сбора и анализа сейсмических данных через EXM Минск-2, которая называется BARS (Большая Автоматизированная Региональная Сейсмометрия), и собранные данные хранятся на перфорированных ячейках или магнитных лентах. Сейсмические наблюдения проводились с использованием трехкомпонентных станций. Эта система была установлена вокруг эпицентра землетрясения в Назарбеке и позволяла автоматически определять координаты, время и энергию землетрясения (1972г.«Автоматизация сейсмических явлений в Узбекистане», 1976г.«Автоматизация сбора и обработки сейсмической информации», 1984г.«Очаговая область Назарбекского землетрясений по наблюдениям автоматизированной сейсмотелеметрической системы БАРС»).

LESSLA и AutoVukl - это системы сейсмической локации, адаптированные к сейсмическим условиям Мальтийского и Балтийского регионов. Позволяет агрегировать, анализировать и обнаруживать сейсмические данные сейсмических наблюдений в реальном времени.(2007г. «Автоматическое обнаружение и локализация землетрясений с помощью трехкомпонентной станции»,2013г. «Информационная система мониторинга сейсмичности Прибайкалья в реальном времени»).

Актуальность темы и постановка задач. Несмотря на то, что в прошлом было получено много важных научных результатов, в этой области остается ряд нерешенных вопросов. Большого количества сейсмических станций сейсмические сети расширяют свое распределение и лучше анализируют местоположение землетрясений. Обычно сети обнаруживают землетрясение, когда срабатывают несколько станций, а затем анализируют разное время прибытия, чтобы определить источник. С установкой широкополосных сейсмометров инструменты стали более чувствительны к местной сейсмической активности, но из-за большого объема данных, загружающих сеть, и порогового значения, установленного для обнаружения события, данные с отдельных станций остаются без анализа. В лаборатории экспериментальной сейсмологии началось проведение работы одной станции путем разработки и внедрения автоматизированной системы обнаружения, идентификации и определения местоположения таких событий с использованием трехкомпонентного анализа поляризации на одной станции.

При близких землетрясениях с очагами в земной коре регистрируются продольные P_n , P_g и поперечные S_n , S_g волны. Волны P_g и S_g (прямые волны) распространяются по прямой от очага к станции; P_n и S_n – волны, преломленные на подошве земной коры. При эпицентральных расстояниях, меньших 180 км, на сейсмограммах сейсмических станций Прибайкалья в продольных волнах наблюдается вступление P_g , в поперечных – S_g . Интервал между этими вступлениями не превосходит 20 с. При больших эпицентральных расстояниях первыми вступают более слабые волны P_n (перед P_g) и S_n (перед S_g). Очень важно в этих случаях правильно интерпретировать фазы P_n и P_g , S_n и S_g . Например, если первое вступление P_n принять за P_g , то расстояние получается завышенным и t_0 определяется с ошибкой [1,2].

Первоочередной задачей в процессе обработки сейсмических сигналов является обнаружение самого сигнала – определение моментов вступления прямых сейсмических волн P_g и S_g . Программа ориентирована на обработку региональных землетрясений с расстояниями до сейсмостанций менее 180–200 км, так как на таких расстояниях сейсмограммы, полученные на станциях Прибайкалья, содержат преимущественно прямые сейсмические волны (P_g и S_g). В качестве исходных данных в расчетах служат координаты сейсмических станций, моменты вступлений сейсмических волн на эти станции и соответствующие максимальные амплитуды. В расчет включаются данные об основных сейсмических волнах - продольных и поперечных. Программа «Региональная зона» рассчитывает координаты и глубину очага, время в очаге землетрясения, невязки для всех задаваемых волн, энергетический класс землетрясения; вычисляет погрешности в определении всех параметров очага.

Глубина очага на первом этапе не определяется, а задается равной 10 км. Минимизация указанной выше суммы квадратов невязок производится поэтапно. В

результате после серии приближений на каждом этапе гарантируется истинное (окончательное) решение, находящееся по каждой переменной в пределах ее заданного изменения. Для расчета энергетического класса в программе заложена номограмма Т.Г.Раутиан. Зная максимальные амплитуды в волнах и эпицентрального расстояние, по номограмме определяется энергетический класс землетрясения K_p . [3]

Применение программного ядра Депозитария необходимо для реализации алгоритмов обработки данных внутри базы метаданных, механизмов доступа к внешним источникам информации, обеспечения безопасности вызовов. В программном ядре реализованы общесистемные функции, функции проверки безопасности, функции доступа к данным хранилища и функции конвертирования. К общесистемным относятся функции, отвечающие за запуск сервера, получение информации о конфигурации системы, функции запуска различных программ на стороне сервера. Функции работы с хранилищем применяются для помещения, извлечения и удаления файлов из хранилища, извлечения данных. Функции конвертирования вызываются для преобразования текстовых строк в различные форматы: HTML, XML. [4, 5, 6]

Для организации доступа к документам, хранимым в Репозитории, необходимо реализовать менеджер файлов, встроенный в программное ядро репозитария. Менеджер выполняет процесс преобразования логического имени определенного файла, хранимого в репозитории, в поток данных для чтения или записи. При использовании менеджера файлов возможна компрессия и декомпрессия, а также конвертирование и шифрование в процессе чтения и записи с физических носителей.

Задача сейсмометров (сейсмоприёмник, геофон) преобразовать движение почвы в формат, позволяющий исследователю работать с полученными данными. Раньше это была видимая аналоговая запись, сейчас – цифровая запись. Причем, и в этом случае видимая запись сигнала (волновая форма) остается наиболее информативной для исследователя. Работа всех сейсмометров основана на двух физических явлениях: инерции (первый закон Ньютона) и гравитации. Инерционная составляющая преобладает на частотах от 0.001 Гц и выше, гравитация – на периодах более 1000 Сек. По типу сигнала на выходе сейсмометра они подразделяются на сейсмометры смещения, велосиметры (сигнал на выходе датчика пропорционален скорости смещения почвы) и акселерометры (сигнал на выходе пропорционален ускорению почвы). По типу преобразователя движения почвы в основном используются электродинамические и пьезоэлектрические датчики. В настоящее время наиболее распространены сейсмометры с электродинамическими преобразователями движения.

Международные сейсмологические центры передают непрерывные данные с удаленных сейсмических станций в реальном времени по спутниковым каналам связи. Существуют разработанные программные протоколы («AutoDRM», «LISS», «NRTS»),

позволяющие в режиме реального времени или близком к реальному времени (с задержкой до 10 минут) передавать цифровые сейсмические записи. Широко распространен доступ к данным по системе автодозвона «Auto DRM». В таком режиме осуществляется доступ к ограниченному объему станционных данных с сети станций GSN. Для того, чтобы автоматизировать обмен данными и освободить сотрудников обсерваторий для выполнения других задач, в швейцарской сейсмологической службе была разработана программа «Automatic Data Request Manager». «AutoDRM» является надежным инструментом получения сейсмических записей, потому что удаленный пользователь напрямую не обращается к компьютеру. Неизвестные и несанкционированные команды не выполняются программой. «AutoDRM» может рассматриваться в качестве интерфейса между локальным хранилищем сейсмических данных и запрашиваемым местным форматом, которые, как правило, различны в каждом сейсмологическом центре.[7]

«LISS» представляет собой протокол передачи данных. Первоначально он использовался для получения данных с удаленных сейсмических станций. В настоящее время «LISS», в основном, используется для распределения данных. Протокол позволяет практически в реальном времени распределять потоки данных от сейсмических станций по всему миру. Отсутствует система запросов, клиент просто подключается к определенному адресу Интернета, чтобы начать получать данные. Поддерживается большое число одновременных связей клиента. Каждый клиент соединяется с «LISS» и получает копии цифровых сейсмических данных (волновые формы), которые сервер в свою очередь получил от сейсмических станций. Данные со станций GSN сети доступны по протоколу «LISS». Каждая станция, как правило, имеет по крайней мере три компонента данных, доступных на нескольких частотах дискретизации. Программы пакета «LISS» разработаны на языке программирования C, независимы от используемой платформы, должны работать в большинстве Unix/Linux операционных систем. Некоторые из станций соединены с WAN через выделенные линии, другие – через коммутируемые линии. Состояние сети сбора данных меняется достаточно часто, количество станций, работающих в таком режиме, неуклонно растет и составляет десятки станций. Система «NRTS» имеет следующие особенности: функционируют в UNIX операционных системах; используют для соединения TCP/IP сетевые протоколы, применяется принцип пакетной передачи данных фиксированного размера; возможно конвертирование в международные форматы хранения сейсмических данных; обеспечивается локальное хранение данных на диске и непрерывный сбор телеметрических данных. Протокол «Seedlink» поддерживается для большого количества типов регистраторов: Guralp, Nanometrics, Quanterra. Представляет клиент-серверное программное обеспечение, соединение иницируется

клиентом. Передача данных осуществляется в виде пакетов в режиме FIFO для каждой станции. «SeedLink» возможно использовать при dialup-соединении через протоколы SSH и VPN.[8]

Для функционирования представленных программных пакетов сбора непрерывных сейсмических данных необходимо устойчивое Интернет-соединение между сейсмическими станциями и центром сбора информации. Помимо этого существующие системы сбора первичных материалов наблюдений ориентированы на работы со стандартными форматами представления сейсмических данных (Seed, MiniSeed, CSS 3.0). Чаще всего программное обеспечение имеет закрытый режим разработки, что затрудняет адаптацию под определенные условия функционирования. Программных решений для автоматического определения основных параметров сейсмических событий существует намного меньше, чем автоматизированных сейсмологических пакетов. Существуют мировые программные решения для передачи первичных материалов наблюдений с сети станций в режиме реального времени. Применение известных программных систем сбора сейсмических записей для региональной сейсмической сети ввиду следующих причин: Использование специфических регистраторов – цифровых сейсмических станций, не имеющих программного обеспечения для сбора и обработки сейсмических данных в автоматическом режиме. Существующие системы сбора первичных материалов наблюдений ориентированы на работу со стандартными форматами представления сейсмических данных (Seed, MiniSeed, CSS 3.0, SAC). Чаще всего известное программное обеспечение имеет закрытый режим разработки или отсутствие документации, что затрудняет его модернизацию и адаптацию под определенные условия функционирования. Уровень оснащённости сейсмических станций средствами связи Internet и качество связи не позволяют осуществлять передачу всех непрерывных цифровых записей.[9]

Поэтому поставлена задача разработать собственную технологию сбора сейсмических записей в режиме реального времени или близком к реальному. Технология сбора первичных материалов наблюдений с сети станций состоит из выполнения следующих процессов: Слежение на сейсмической станции за появлением записей, содержащих волновые формы землетрясений. Передача фрагмента записи, имеющего волновые формы землетрясения, с сейсмической станции на сервер центра сбора информации. Анализ цифровых записей на наличие сейсмограмм региональных землетрясений и выявления сейсмического события. Выделенные процессы должны выполняться автоматически и в режиме времени, близком к реальному. В отличие от современных систем сбора первичных материалов наблюдения предложенная

технология направлена на сбор только фрагментов записей, содержащих волновые формы землетрясений, а не всего потока непрерывных сейсмических записей.

Результаты исследования и рекомендации. Технология сбора должна удовлетворять перечню требований, главное из которых – система сбора представляет собой программный комплекс, состоящий из подсистемы, осуществляющей автоматическую отправку первичных материалов наблюдений с сейсмостанции, и модуля регистрации и анализа поступающих цифровых записей в центре сбора информации. Однако данные программы нацелены на работу с большими сетями станций и сейсмическими группами и не позволяют получать автоматическую локацию по одиночным станциям. В то же время при изучении локальной слабой сейсмичности события часто регистрируются лишь одной ближайшей станцией, а в условиях разряженных сетей наблюдения такая ситуация становится типичной. Сеть сейсмических станций в сейсмоактивных регионах, остается достаточно разряженной, а в так называемых “асейсмических” районах расстояние между станциями сети постоянного мониторинга достигает сотен километров. Создание сложной программной платформы для специальной конфигурации региональной сейсмической станции позволит автоматически обнаруживать сейсмические местоположения, а также создавать и поддерживать каталог землетрясений [10]. Этот процесс включает в себя: разработку алгоритмов обработки сейсмических данных, разработку автоматической системы обнаружения землетрясений, создание базы данных сейсмических событий и выбор скоростных моделей для региона.

Цель - выявить все местные события правильно. Некоторые события могут быть очень слабыми и идентифицироваться только натренированным глазом. А очень чувствительное приложение может выдавать много ложных срабатываний и пытаться уменьшить количество ложных сигналов. Широкополосные отфильтрованные данные могут помочь уменьшить такие проблемы.

Цель работы - локализация местных землетрясений. В отличие от телесеизмических и региональных землетрясения, сейсмические волны местных землетрясений преобладают высокие частоты, которые будут сильнее ослабляться на больших расстояниях. Это важный фактор при анализе сейсмограмм. Мы берем данные по трем каналам

Выборки каналов,	
ЛН	1
ВН	20
НН	80

ЛН можно описать как НН с фильтром нижних частот, а ВН действует как НН с полосовой фильтрацией.

Поскольку сейсмограммы с разной частотой дискретизации показывают разные характеристики землетрясения, триггеры из разных каналов могут помочь классифицировать события. Например, если только LH каналы триггера, это указывает на то, что волны имеют очень длительный период, и намекает на возможное отдаленное землетрясение. Напротив, если срабатывают только каналы НН, это указывает на то, что источник вблизи.

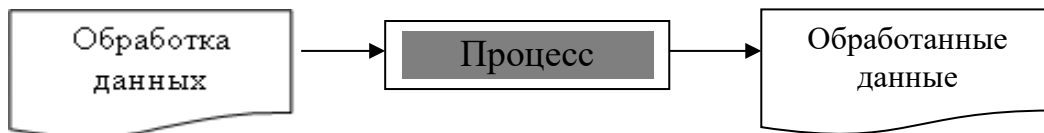
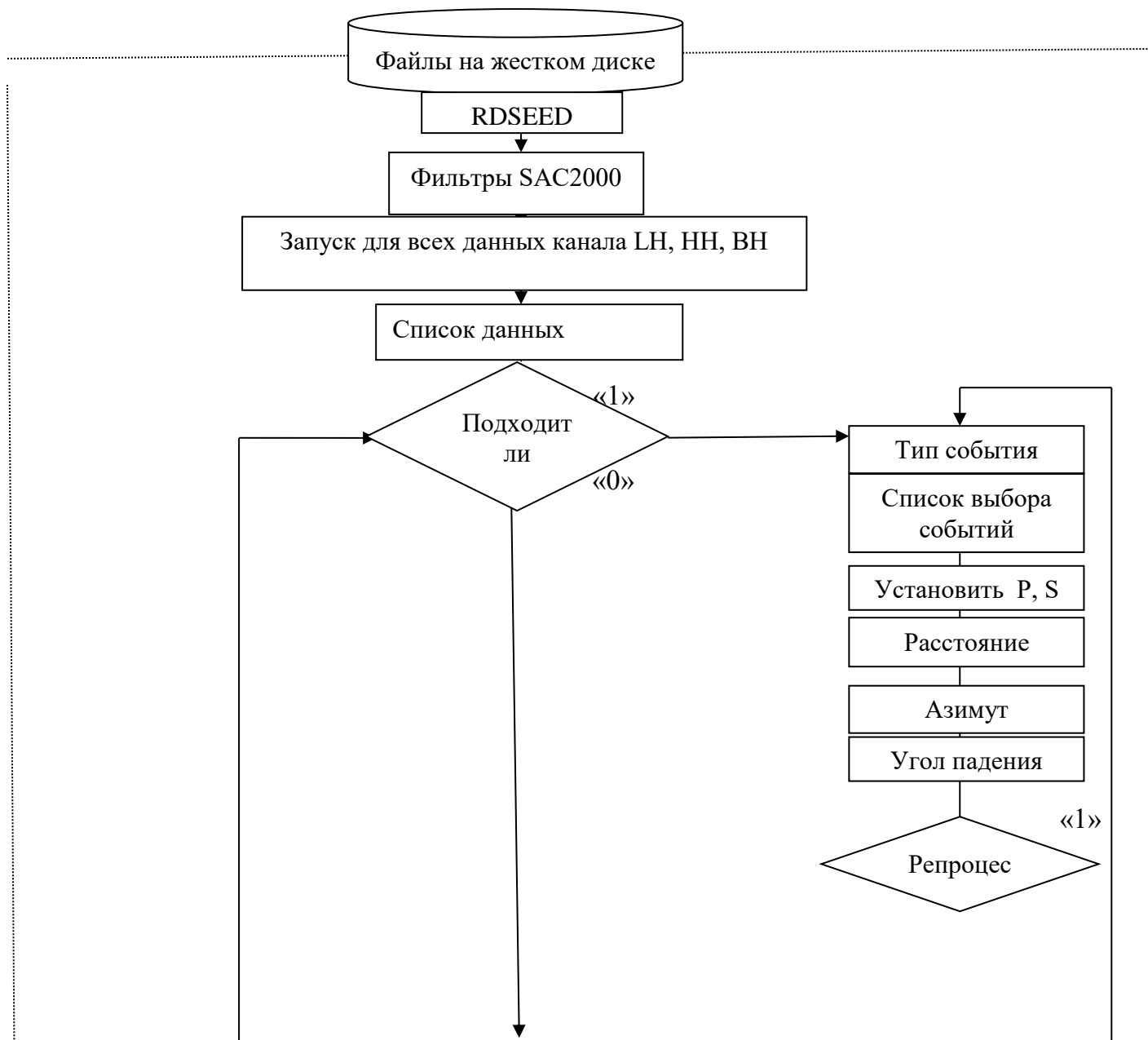


Рисунок 1. RDSEED и SAC2000 используются как черный ящик для обработки

Следующая таблица и блок-схема (рисунок 2.) представляет собой краткое изложение программы. Каждый этап имеет решающее значение, и каждый этап ведет к другому и если один из этапов выйдет из строя, то следует ошибки и неточностью.



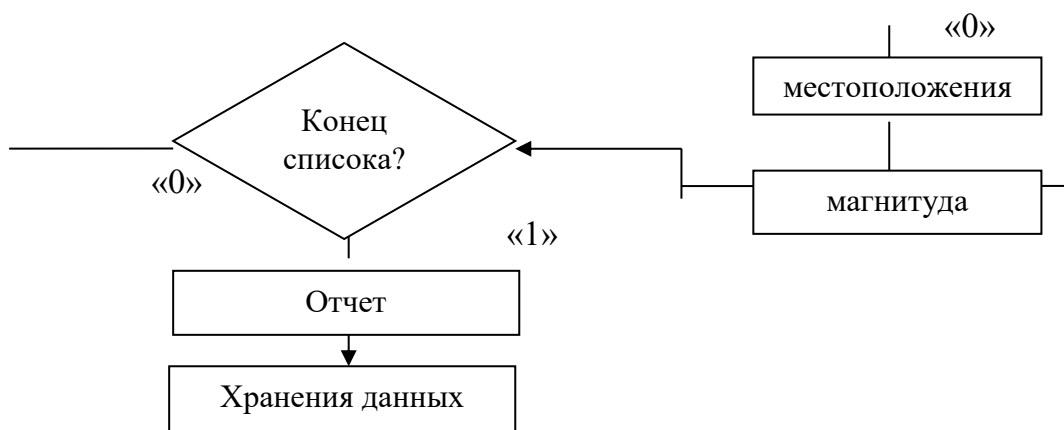


Рисунок 2. Блок-схема, показывающая последовательность выполнения

Таблица 1. Текстовый алгоритм последовательность выполнения.

Конвертирует потоки LH, VH и HH данные, дневные файлы
Фильтрует данные, используя определенные низкие и высокие частоты зависимости от канала
Файлы импортируются в память
Создать список дневных событий
Алгоритм запуска STA / LTA по временным рядам каждого компонента каждого канала. Каждый триггер и срабатывание считаются потенциальным событием. Время начала и окончания каждого события сравнивается с начальным и конечным значениями событий в список дневных событий. События классифицируются в зависимости от канала, которому принадлежит триггер и детриггер.
Допустимые события обрабатываются.
Событие подразделяется на региональное, местное или близкое по продолжительности от отметки начала до максимальная горизонтальная амплитуда между началом и концом события. Создайте список выбора событий: STA/LTA по временным рядам каждого компонента всем каналам между отметкой начала и конца события. Установите метки P и S. Расчет расстояний. Обработка оценки азимута всех каналов - выберите наиболее стабильный азимут после начала P. Оценка угла падения всех каналов - выберите наиболее стабильный угол падения. Расчет местоположения (широта и долгота). Расчет величины.
Отчет о проблеме.
Хранить данные о событиях

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. **Масальский, О. К.** Прибайкалье и Забайкалье / О. К. Масальский, Н.А. Гилева, В. И. Мельникова, Е. В. Хайдурова // *Землетрясения России в 2010 году*. – Обнинск: ГС РАН, – 2012. – С. 32–36.
2. **Мельникова, В. И.** Прибайкалье и Забайкалье / В. И. Мельникова, Н. А. Гилева, О. К. Масальский // *Землетрясения Северной Евразии, 2006 год*. – Обнинск: ГСРАН, – 2012. – С. 151–162.
3. **Раутиан, Т.Г.** Энергия землетрясений / Т.Г. Раутиан // *Методы детального изучения сейсмичности* / Отв. ред. Ю.В. Ризниченко. – М.: Изд-во АН СССР, –1960. – № 9. – С. 75–113.
4. **Копайгородский, А. Н.** Компонентный подход к разработке ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике / Массель Л. В., Копайгородский А. Н., Черноусов А. В. // *Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе* / Приложение к журналу «Открытое образование» / Материалы XXXIV Международной конференции, Украина (Ялта-Гурзуф). – М.: МГАПИ, – 2007 – С. 131–134.
5. **Копайгородский, А.Н.** Разработка и интеграция основных компонентов информационной инфраструктуры научных исследований А.Н.Копайгородский, Л.В.Массель // *Вестник ИрГТУ*, 2006. – № 2 (26), – С. 20–24.
6. **Копайгородский, А.Н.** Разработка архитектуры и системных программных компонентов ИТ-инфраструктуры исследований в энергетике / А.Н.Копайгородский, А.В.Черноусов, Д.А.Фартышев // *Интеллектуальные системы обработки информации и управления. Т. Сборник статей 2-ой региональной зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых*. Уфа: Издательство «Технология», – 2007. – С. 79–83.
7. http://www.ipgp.fr/~arnaudl/NanoCD/documentationNanometrics/Software/AutoDRM/AutoDRM_UserGuide_14830R4.pdf
8. Seedlink - <http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/seedlink>
9. SEED Reference Manual. SEED Format Version- 2012. http://www.fdsn.org/seed_manual/SEEDManual_V2.4.pdf.
10. **Шаякубова М.З.** Разработка системы автоматической локализации сейсмических событий по данным трехкомпонентной станции.- «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр» международная научно- практической конференция. Т, 2019.- С. -451.