

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Иркутский национальный исследовательский технический университет
(ФГБОУ ВО ИРНИТУ)

На правах рукописи



Хритова Мария Анатольевна

**Информационно-аналитическая система для мониторинга
землетрясений Прибайкалья и Забайкалья**

25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

к. т. н., доцент

Бахвалов С.В.

Иркутск – 2015

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Информационные процессы мониторинга сейсмической активности	12
1.1 Современные системы мониторинга сейсмической активности, существующие программные средства	12
1.1.1 Системы мониторинга сейсмичности	12
1.1.2 Программные средства сбора первичных материалов наблюдений с сейсмических станций	19
1.1.3 Программы автоматического определения эпицентров землетрясений	22
1.2 Региональная сейсмическая сеть Прибайкалья	25
1.3 Модели информационных процессов мониторинга сейсмической активности	28
1.3.1 Универсальная модель процесса мониторинга сейсмической активности	29
1.3.2 Функциональная модель сейсмического мониторинга, использовавшаяся в БФ ГС СО РАН	31
1.3.3 Предлагаемая функциональная модель мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья	34
1.4 Архитектура и требования к информационно-аналитической системе мониторинга землетрясений	35
1.4.1 Архитектура ИАС мониторинга землетрясений	35
1.4.2 Функциональные требования, предъявляемые к ИАС мониторинга землетрясений	36
1.5 Выводы	39
Глава 2. Информационная инфраструктура Геофизической службы	40
2.1 Анализ деятельности Геофизической службы	40
2.2 Методика построения информационной инфраструктуры Геофизической службы	45
2.2.1 Предполагаемый подход к построению информационной инфраструктуры научных исследований	46
2.2.2 Модель информационной инфраструктуры	48

2.2.3 Модель данных Репозитария.....	50
2.2.4 Архитектура инструментальных средств.....	51
2.2.5 Схема информационной инфраструктуры.....	53
2.3 Выводы.....	56
Глава 3. Технология сбора первичных материалов наблюдения.....	57
3.1 Обоснование и назначение технологии сбора.....	57
3.2 Проектирование программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent»	59
3.3 Алгоритм распознавания сейсмограммы регионального землетрясения	64
3.4 Реализация программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent»	71
3.5 Выводы.....	77
Глава 4. Метод автоматической обработки региональных землетрясений	79
4.1 Постановка задачи.....	79
4.2 Метод автоматической обработки цифровых сейсмограмм для определения основных параметров землетрясений	80
4.3 Алгоритм автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья	85
4.4 Реализация программы «AutoBykl»	90
4.5 Результаты функционирования программы «AutoBykl»	95
4.6 Выводы.....	98
Заключение	99
Список сокращений	100
Список литературы	102
Приложение 1. Форматы представления цифровых сейсмограмм.....	113
Приложение 2. Каталог землетрясений, мониторинг которых осуществлялся с помощью разработанной ИАС	116
Приложение 3. Сравнение основных параметров землетрясений, полученных в ручном и автоматическом режиме	121
Приложение 4. Акт о внедрении результатов работы.....	124

Введение

Актуальность проблемы. Сейсмический мониторинг – неотъемлемая часть жизнеобеспечения населения регионов с выраженной сейсмической активностью и систем обеспечения безопасности ответственных сооружений (электростанций, скважин, шахт, мостов и др.), относится к технологиям уменьшения риска опасных природных явлений. Мониторинг включает не только регистрацию, но и дальнейшую оперативную обработку, и интерпретацию сейсмологических данных с выходом на прогнозные оценки.

Существенный вклад в разработку методов и средств сейсмического мониторинга внесли П. Борман, В. Ханка, Б. Вебер, А. А. Тресков, С. И. Голенецкий и др.

Получаемые в результате обработки сейсмических записей сведения о времени возникновения землетрясений, о расположении их очагов и энергии совместно с данными об исторических землетрясениях, используются для сейсмического районирования и оценки сейсмического риска территории. Другая практическая цель использования сейсмического мониторинга – создание системы сигнализации и предупреждения о сейсмической опасности от тектонических землетрясений вокруг крупных инженерно-технических и экологически-опасных объектов. Результаты сейсмического мониторинга используются и в научных целях – для изучения внутреннего строения Земли.

Для хранения и анализа получаемых данных используются средства автоматизации, в частности, информационно-аналитические системы (ИАС). Таким образом, ИАС мониторинга сейсмичности должны удовлетворять следующим потребностям: (1) необходимость принятия экстренных мер и исполнения оперативных мероприятий в зависимости от текущей сейсмической обстановки на основе автоматических уведомлений; (2) автоматическое формирование баз сейсмологических данных, включающих непрерывные волновые формы наблюдаемых процессов, бюллетени сейсмических событий и сопроводительную информацию; (3) обмен информацией с другими сейсмологическими центрами и сетями сбора данных; (4)

автоматическое использование непрерывных данных в реальном времени от других сейсмических сетей с целью улучшения локации сейсмических событий и оценки их параметров; (5) оперативная корректировка карт тектонической активности региона, карт балльности и сотрясаемости.

Проблема в том, что современное программное обеспечение, применяемое для мониторинга сейсмичности, имеет жесткую привязку к используемому сейсмологическому оборудованию, цифровым сейсмическим станциям. Кроме того, при использовании современных информационных систем необходимо также учитывать особенности территории, на которой производится мониторинг землетрясений, схему расположения сейсмических станций. Закрытый режим разработки сейсмологических программных пакетов осложняет их модификацию.

Территория Прибайкалья и Забайкалья протяженностью около 1700 км относится к высокосейсмичным регионам России. Ежегодно на рассматриваемой территории регистрируется 8–9 тысяч слабых и сильных землетрясений. Около 90% всех зарегистрированных событий приходится на территорию Байкальской рифтовой зоны [1, 2].

Таким образом, актуальна разработка информационно-аналитических методов для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, обеспечивающей автоматическое получение первичных материалов наблюдений с сети станций (цифровые записи волновых форм землетрясений), автоматическое определение основных параметров событий, а также предоставляющей исследователю наглядную информацию о произошедшем событии.

Объект исследования – система мониторинга сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья. **Предмет исследования** – методы, технологии, системы наблюдений, сбора и обработки сейсмологических данных.

Целями работы являются разработка информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, адаптированной к конфигурации сейсмостанций Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН (БФ ГС СО РАН), позволяющей автоматически получать первичные материалы наблюдений с сети станций, автоматически определять основные параметры событий; разработка методики построения информационной инфраструктуры Геофизической службы, на примере деятельности БФ ГС СО РАН.

Основные задачи работы, решенные для достижения поставленных целей:

1. На основе анализа существующих систем мониторинга сейсмичности (применяемых моделей информационных процессов и поддерживающих программных средств для сбора и обработки сейсмической информации) предложить функциональную модель и архитектуру информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений региона, обеспечивающих сбор, хранение и анализ сейсмических данных.
2. Опираясь на проведенный анализ информационных процессов и функций Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН и выявленные недостатки в информационном обеспечении деятельности организации, разработать методику построения информационной инфраструктуры для комплексного информационно-аналитического обеспечения деятельности Геофизической службы.
3. Автоматизировать информационные процессы сбора первичных материалов наблюдений с сети станций в режиме реального времени с учетом используемой сейсмической аппаратуры и средств связи.
4. Разработать и программно реализовать метод автоматического определения основных параметров региональных землетрясений, адаптированный к конфигурации сейсмической сети и особенностям сейсмичности региона.
5. Провести апробацию разработанной информационно-аналитической системы для мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья.

Методы исследования. В работе применены методы анализа предметной области, методы сбора и анализа сейсмических данных, информационное моделирование, методы и принципы проектирования программных систем, объектно-ориентированное программирование.

Основные защищаемые положения:

1. Функциональная модель и архитектура информационно-аналитической системы для мониторинга сейсмической активности региона Прибайкалья и Забайкалья, обеспечивающей автоматический сбор, хранение и обработку сейсмических данных в режиме времени, близком к реальному.
2. Методика построения информационной инфраструктуры для комплексного информационно-аналитического обеспечения деятельности геофизической службы.
3. Технология автоматического сбора цифровых сейсмических записей с сети станций

в режиме времени, близком к реальному, и реализующий ее разработанный программный комплекс, адаптированный к используемой аппаратуре сейсмостанций, файловому формату данных и средствам связи.

4. Программа для автоматического определения основных параметров региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, реализующая разработанный алгоритм автоматической обработки цифровых сейсмограмм.

Научная новизна представленных в диссертации результатов состоит в следующем:

1. Предложен новый подход к организации информационных процессов сбора, хранения и анализа данных по сейсмологической тематике, отличающийся комплексностью и обеспечением возможности многократного использования данных для решения сейсмологических задач. В основе предложенной методики построения информационной инфраструктуры геофизической службы лежит создание единого информационного пространства – репозитария, для построения модели метаданных информационной инфраструктуры используется построенная онтология предметной области.
2. Разработан оригинальный алгоритм распознавания сейсмического события по записи сейсмостанции и классификации его на региональное землетрясение, далекое землетрясение или помеху. Алгоритм реализован в предложенном программном комплексе для сбора первичных материалов наблюдения. Разработанный программный комплекс позволил автоматизировать информационные процессы сбора первичных материалов наблюдений с сети сейсмостанций Прибайкалья и Забайкалья в режиме времени, близком к реальному, и обеспечил возможность передавать фрагменты цифровых записей, содержащие, волновые формы землетрясений.
3. Разработан новый метод автоматического определения основных параметров региональных землетрясений по набору записей трехкомпонентных (шестикомпонентных) сейсмостанций региональной сети, отличающийся: использованием 2-х прямых сейсмических волн (P_g – продольной и S_g – поперечной); возможностью проведения обработки по акселерограммам при резании значений амплитуд у сейсмограмм; для локации эпицентра землетрясения достаточно успешное детектирование вступлений волн P_g и S_g по записям трех

сейсмостанций. Метод реализован в программе автоматической обработки цифровых сейсмограмм для определения основных параметров региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья.

Практическая значимость. По результатам диссертационной работы создана информационно-аналитическая система для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, которая в полной мере соответствует предъявляемым к ней требованиям, в частности, осуществлять непрерывный автоматический мониторинг сейсмичности региона в режиме времени, близком к реальному.

Компоненты ИАС: программный комплекс «Send_Agent & Receive_Agent» для автоматического сбора цифровых сейсмических записей сети сейсмостанций и программа автоматической обработки региональных землетрясений «AutoBykl» внедрены и используются в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН.

В результате разработки и внедрения информационной системы для мониторинга сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья удалось сократить время определения основных параметров землетрясений с 60–90 минут до 3–7 минут (в 13–20 раз) и исключить ошибки определения параметров, связанные с человеческим фактором.

Результаты диссертационной работы были включены в разработку «Информационная система для автоматического мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья», которая стала лауреатом областного конкурса в сфере науки и техники 2012 года в номинации «За лучшие научные, научно-технические и инновационные разработки молодых ученых».

Достоверность работы подтверждается корректным использованием разработанных методов и программного обеспечения, проведенными исследованиями мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья с помощью разработанной ИАС в сравнении с предшествующей системой мониторинга, а также использованием результатов для оценки сейсмичности региона.

Личный вклад автора. Результаты, составляющие новизну и выносимые на защиту, получены лично автором.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: V Международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (г. Владикавказ, 2010); IV Всероссийская конференция

«Винеровские чтения» (г. Иркутск, 2011); XXIV Всероссийская конференция «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2011); VI Международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (г. Апатиты, 2011); III научно-техническая конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» (г. Петропавловск-Камчатский, 2011); XXXIII Генеральная Ассамблея Европейской Сейсмологической комиссии (г. Москва, 2012); Всероссийская молодёжная научно-практическая конференция «Малые Винеровские чтения» (г. Иркутск, 2013); XXV Всероссийская конференция «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2013); XVIII Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, 2013); II Всероссийский симпозиум «Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы» (г. Иркутск, 2013); IV Всероссийская научно-практическая конференция «Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии» (г. Улан-Удэ, 2013), семинар «Информационные технологии» ИВТ СО РАН и на семинарах кафедры Автоматизированных систем ИрГТУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования научных результатов диссертаций на соискание степени кандидата наук, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и 4-х приложений. Объем диссертации составляет 124 страницы, включая основное содержание, список литературы и приложения. Список литературы содержит 104 наименования.

Основное содержание работы

В первой главе проведен обзор современных систем мониторинга сейсмической активности, осуществляющих наблюдения в глобальном, национальном и региональном масштабах. Рассматриваются действующие сейсмические сети, используемые технологии и программное обеспечение для мониторинга землетрясений в режиме реального времени. Выполнен анализ универсальной модели информационных процессов мониторинга сейсмической активности, применяемой в большинстве международных сейсмологических агентствах, и модели, использовавшейся в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН для

мониторинга землетрясений региона Прибайкалья и Забайкалья. Из проведенного исследования делается вывод, что применявшаяся в БФ ГС СО РАН модель, существующая универсальная модель информационных процессов мониторинга сейсмической активности и поддерживающие их программные средства не удовлетворяют необходимым требованиям, и имеется необходимость разработки оригинальной информационно-аналитической системы (ИАС) для мониторинга сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья.

На основании выполненного анализа предложена новая функциональная модель и принципиальная архитектура ИАС для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья.

В конце главы сформулированы основные функциональные требования для информационно-аналитической системы мониторинга. Поставлена задача разработки компонент ИАС, выполняющих сбор первичных материалов наблюдений сети станций в режиме времени, близком к реальному, и автоматическую обработку набора цифровых сейсмограмм регионального землетрясения с целью получения основных параметров.

Во второй главе диссертации изложены результаты проведенного исследования деятельности Геофизической службы на примере БФ ГС СО РАН и предложена методика построения информационной инфраструктуры Геофизической службы. Анализ деятельности БФ ГС СО РАН выявил недостатки существующей организации информационного обеспечения, связанные с устаревшими подходами к сбору, систематизации и хранения сейсмологической информации. Для устранения отмеченных недостатков предложен новый подход к построению информационной инфраструктуры Геофизической службы, в основе которой лежит создание единого информационного пространства – централизованного хранилища данных, обеспечивающего эффективное выполнение основных функций организации и согласования полученных результатов.

В третьей главе представлена технология автоматического сбора первичных материалов наблюдений сети станций 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.

На основании предложенной технологии разработан компонент информационно-аналитической системы, представляющий собой программный комплекс, состоящий из двух подсистем: подсистемы «Send_Agent», автоматически отслеживающей появление волновых форм землетрясений и осуществляющей отправку их на сервер центра сбора информации и системы «Receive_Agent», регистрирующей полученные фрагменты цифровых сейсмических записей в ЦСИ. Представлены функциональные модели и подробно рассмотрены основные функции подсистем «Send_Agent» и «Receive_Agent». Подробно рассмотрен предложенный автором алгоритм распознавания записей региональных сейсмических событий по форме записи. Представленный алгоритм позволяет среди потока поступающих первичных материалов наблюдения идентифицировать записи региональных сейсмических событий, требующих срочной обработки для определения основных параметров землетрясений. Описывается реализация модулей программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent».

В четвертой главе представлена разработанная автором программа для автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, являющаяся компонентом информационно-аналитической системы. Выполнена постановка задачи и описан предлагаемый подход к решению для задачи автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья. Подробно рассмотрен предлагаемый алгоритм поэтапного обнаружения времен вступлений сейсмических волн по набору цифровых сейсмограмм, проверки истинности найденных фаз и расчета географических координат эпицентра, времени возникновения землетрясения, величины энергетического класса и магнитуды. Представлена реализация программы автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья «AutoBykl». Приведены результаты функционирования информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН.

В заключении приводятся основные результаты работы, определено дальнейшее направление исследования.

Автор выражает глубокую и искреннюю благодарность: д.г.-м.н. В.В. Мордвиновой, Н.А. Гилёвой за консультации и ценные замечания, связанные с геофизическими аспектами; научному руководителю к.т.н. С. В. Бахвалову за всестороннюю поддержку и постоянное внимание в ходе выполнения работы.

Глава 1

Информационные процессы мониторинга сейсмической активности

1.1 Современные системы мониторинга сейсмической активности, существующие программные средства

1.1.1 Системы мониторинга сейсмичности

Рассмотрим состояние и направление развития некоторых современных сейсмических сетей, осуществляющих мониторинг землетрясений в глобальном, национальном и региональном масштабах. Это полезно с точки зрения выявления перспективных направлений развития систем мониторинга сейсмичности.

Глобальная сейсмическая сеть (GSN) представлена цифровыми сейсмическими станциями, имеющими широкую полосу и большой динамический диапазон регистрации сигналов. Руководство GSN [3] осуществляет Корпорация научно-исследовательских институтов по сейсмологии – IRIS [4]. Глобальная сейсмической сеть разработана с целью обеспечения мирового сейсмологического сообщества данными наблюдений.

В сети GSN под управлением Альбукерской сейсмологической лаборатории (USGS/ASL) функционирует более 80 станций. Вторым оператором сети – Калифорнийским университетом в Сан-Диего (IRIS/IDA) установлено около 80 станций. Кроме того, в состав GSN входит ряд станций, принадлежащих университетским сетям и другим членам корпорации IRIS. Общее количество таких станций 15. Таким образом,

в сети GSN работает около 150 станций, располагающихся более чем в 80 странах на всех континентах. Благодаря этому резко улучшилось равномерность покрытия станциями земного шара и, как следствие, значительно возросло количество данных [5].

Концепция открытого доступа к станционным данным является основным принципом формирования GSN. С большинства станций данные наблюдений поступают через Интернет, орбитальные спутниковые каналы или по выделенным телефонным линиям.

GSN работает в тесном взаимодействии с Национальной сейсмической сетью США (USNSN), которая эксплуатируется Геологической службой США. Станции GSN и USNSN подобны, а сбор данных, их анализ и распространение координируются USGS и IRIS.

Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр (EMSC) создан с целью быстрого (близкого к реальному времени) определения эпицентров потенциально разрушительных землетрясений Европейско-Средиземноморского региона. В настоящий момент членами EMSC [6] являются 6 ключевых членом, представляющих 5 стран, 34 активных члена, представляющих 25 стран, и 3 члена по праву – международные организации ESC, ORFEUS и ISC.

Для срочного оповещения о землетрясениях в Европейско-Средиземноморском регионе установлен уровень магнитуд 5.0 и выше. Центр ведет работу непрерывно и круглосуточно. Если в обычном режиме Центр получает данные от 41-ой сети (более пятисот станций), то в службе срочного оповещения принимают участие сети, которые дают более качественные данные в оперативном режиме. В настоящее время приблизительно 30 сейсмологических сетей передают данные в EMSC в режиме близком к реальному времени. Девятнадцать сетей расположены в европейских странах. В работе EMSC принимает участие Геофизическая служба РАН, которая передает станционные данные и результаты сводной обработки [5].

Данные сетей передаются в виде сообщений по электронной почте и автоматически анализируются в EMSC. Для тех данных, которые вызваны землетрясением, превышающим уровень пороговой магнитуды, центр производит локализацию и определяет магнитуду. Для землетрясений, которые происходят в пограничных областях стран Европейско-Средиземноморского региона, точность и надежность данных центра выше, чем любой сети из стран этого региона. Срочное

донесение EMSC немедленно рассылается в правительственные органы Европейских стран, международные организации.

База данных EMSC в настоящее время еще находится в стадии разработки. Цель состоит в том, чтобы данные, собранные и хранимые в EMSC, стали легко доступными научным учреждениям и специалистам. Данные будут включать следующую информацию: все полученные EMSC сообщения с данными и все срочные донесения, посланные EMSC; все бюллетени, полученные EMSC; и подготовленный в EMSC Европейский бюллетень.

В заключение следует отметить, что EMSC своей собственной сейсмической сети не имеет. Работа центра базируется на данных наблюдательных сетей и станций, принадлежащих различным странам. Данные предоставляются на основе членства стран в EMSC или на основе взаимных интересов организаций по обмену данными.

Национальный центр информации о землетрясениях (NEIC) является частью Геологической службы США [7]. Главной задачей центра является максимально быстрое и, насколько возможно, более точное определение основных параметров сильных и разрушительных землетрясений, происходящих на территории США и во всем мире. NEIC немедленно распространяет эту информацию заинтересованным национальным и международным организациям, ученым, специалистам и широкой публике.

Следующей задачей центра является создание базы сейсмических данных и обеспечение доступа к ней широкого круга исследователей. Источниками для создания базы являются данные современных цифровых национальных и глобальных сейсмических сетей, отдельных обсерваторий, станций и институтов более чем из 80-ти стран мира, получаемые в соответствии с международными соглашениями. NEIC является национальным центром не только текущих данных, но и постоянно пополняемого архива информации о землетрясениях.

Третьей задачей NEIC является развитие исследований, направленных на улучшение определения местоположения землетрясений и понимание механизма землетрясений. Такие работы Центра направлены, прежде всего, на уменьшение сейсмической опасности. Они возможны благодаря тесному и длительному международному сотрудничеству NEIC с научно-исследовательскими институтами, национальными и региональными сетями.

Национальный центр непрерывно и круглосуточно ведет работу по точному и быстрому определению местоположения и энергии значительных землетрясений в США и во всем мире. Эта информация сообщается правительственным федеральным агентствам и агентствам штатов, ответственным за реакцию на чрезвычайные ситуации, национальным и международным средствам массовой информации, научным группам и частным гражданам, запрашивающим такую информацию. Когда разрушительное землетрясение происходит за рубежом, информация о землетрясении передается персоналу американских посольств и консульств в странах, где произошло землетрясение, а также гуманитарному департаменту Организации Объединенных Наций.

NEIC дает срочные донесения о землетрясениях с магнитудой 4.5 и более на территории США и с магнитудой 6.0 – 6.5 и более (а также о тех, которые вызвали разрушения) по всему миру. В настоящее время персонал NEIC ежегодно определяет параметры и публикует информацию более чем о 20 тыс. землетрясений [5].

Геофизическая служба РАН. Сейсмическая сеть, которая ответственна за сбор сейсмических данных на территории России, имеет иерархическую трехуровневую структуру. В нее входят телесеismicкая сеть (OBN) и 10 региональных сейсмических сетей. В состав некоторых из них в свою очередь входят локальные сети. В общей сложности в единой сети сейчас работают более 250 сейсмических станций и 10 центров сбора и обработки данных [8]. Организационно объединяет и координирует работу всех сетей Геофизическая служба Российской академии наук, которая обеспечивает производство наблюдений, текущую обработку данных, издание сейсмологических каталогов и бюллетеней, предоставление данных для исследований в области наук о Земле. Филиалы Геофизической службы обеспечивают сейсмический мониторинг территорий отдельных регионов.

Геофизическая служба взаимодействует с международными и национальными сейсмологическими центрами с целью обмена данными и интеграции в мировую систему сейсмических наблюдений. Геофизическая служба наряду с научными исследованиями в области сейсмического мониторинга и развитием новых средств и методов производства наблюдений обеспечивает оперативное оповещение центральных и местных органов власти, а также других ведомств и организаций о землетрясениях и их возможных последствиях.

В состав телесеismicческой сети (OBN), центр которой находится в г. Обнинске, входит около 40 станций. Все станции имеют широкополосные каналы регистрации. Подавляющая часть из них оснащена цифровым оборудованием, но есть еще несколько станций, которые используют короткопериодные и длиннопериодные каналы с записью на фотобумагу. Цифровая регистрация на 12 станциях производится оборудованием, предоставленным корпорацией сейсмологических институтов США (IRIS). Его характеристики аналогичны характеристикам станций Глобальной seismicческой сети GSN. Реализована передача данных по каналам связи, в том числе в режиме близком к реальному времени. Центр телесеismicческой сети регулярно получает в таком режиме данные с более чем 40 отечественных и зарубежных станций, располагающихся на разных континентах. Кроме того, центр имеет доступ к ряду зарубежных баз данных и с задержкой до нескольких месяцев получает данные всех станций Глобальной seismicческой сети [5].

Программное обеспечение центра создано как результат многолетних усилий с использованием собственных разработок и достижений сейсмологических центров США, Австралии и других стран. Оно позволяет реализовать практически все современные методы обработки данных, включая производство сбора данных в различных режимах, автоматическое детектирование и ассоциацию фаз, определение параметров событий в интерактивном режиме, формирование бюллетеня seismicческих событий [9].

Обнаружение seismicческих событий и оповещение о тревоге seismicческой опасности является главной целью служб срочных донесений (ССД), которые непрерывно и круглосуточно функционируют в составе Геофизической службы РАН и её филиалов, расположенных в сейсмоактивных регионах. Службы постоянно ведут анализ seismicческой обстановки. Хотя большая часть территории России находится в стабильном континентальном регионе Земли, около 20% ее площади расположено в сейсмоопасных зонах с интенсивностью землетрясений 7 баллов и выше. Наибольшую опасность несут землетрясения в зонах активных тектонических процессов на территориях Камчатки, Сахалина, Прибайкалья, Северного Кавказа, Алтая. Донесения о произошедших на территории РФ и мира или в зонах ответственности регионов о сильных разрушительных землетрясениях и их последствиях оперативно передаются в центральные и местные органы исполнительной власти, заинтересованным ведомствами

и организациям, в центральные и территориальные органы МЧС. Донесения содержат информацию о землетрясениях и прогнозируемых возможных их последствиях.

В Геофизической службе РАН и некоторых ее филиалах широко используется **автоматизированное рабочее место сейсмолога «WSG»**. «WSG» представляет собой программный комплекс, включающий основной программный модуль «WSG» («Windows Seismic Grafer») и набор вспомогательных сервисных утилит [10, 11]. Основные вычислительные процедуры, предназначенные для обработки сейсмических сигналов и получения оценок параметров гипоцентров сейсмических событий как по записям одной станции, так и по группе станций, сосредоточены в программном модуле «WSG». Практика работы с этим программным модулем показала, что он может быть использован в качестве рабочего места сейсмолога как на отдельных сейсмических станциях, так и в обрабатывающих центрах.

Региональные сейсмические сети ГС РАН имеют разный уровень оснащенности сейсмическим оборудованием, средствами связи. Используемая сейсмическая аппаратура и программные средства разрознены. Отсутствует единый протокол сбора, хранения и обработки сейсмических данных.

Подробнее рассмотрено функционирование региональных сетей на примере Камчатской и Кольской сейсмологических сетей.

Камчатская региональная сеть (KRSC). Сеть стационарных сейсмических станций Камчатского филиала ГС РАН включает 12 станций. Все станции оснащены широкополосным оборудованием с цифровой регистрацией. Помимо стационарных станций на территории Камчатки развернута сеть станций сильных движений, предназначенных для регистрации сильнейших, катастрофических землетрясений, и сеть радиотелеметрических сейсмических станций, оборудованных комплектом короткопериодной аппаратуры [12, 13].

Служба срочных донесений обязана обработать данные о произошедшем сильном землетрясении и получить его параметры (координаты, магнитуду) в течение не более 30 минут после его регистрации. К сильным относятся землетрясения с магнитудой M не ниже 4.0 из Авачинского залива и с магнитудой M не ниже 4.5 для остальной Камчатки. Полученные данные немедленно передаются в заинтересованные организации.

Сбор первичных материалов наблюдения с сейсмических станций осуществляется через спутниковые каналы связи, выделенные ресурсы Internet, специализированные радио Ethernet сети.

Программное обеспечение информационно-обрабатывающего центра (г. Петропавловск-Камчатский) позволяет отображать потоки сейсмических данных в реальном времени на мониторах (программа «Дисплей реального времени»), производить автоматизированную (программа «DIMAS» [14]) и автоматическую (программный комплекс «БЛИЦ» [15, 16]) оценку параметров сильного землетрясения.

Каталог службы срочных донесений с информацией о последних произошедших землетрясениях доступен на сайте Камчатского филиала ГС РАН (<http://www.emsd.ru>).

Кольская сейсмическая сеть (KORS). Сейсмическая группа состоит из 9 вертикальных короткопериодных сейсмометров и трехкомпонентной станции в центре группы.

Информация с датчиков сейсмической группы поступает в пункт сбора, где оцифровывается с помощью дигитайзеров. Оцифрованные данные передаются в Центр сбора данных Кольского филиала ГС РАН в г. Апатиты по прямой радиосвязи с помощью трех радиомодемов. В Центре данные поступают в компьютер, где объединяются в секундные блоки и записываются в кольцевой дисковый буфер. В буфере данные хранятся в течение 2 недель. За это время они просматриваются системами обработки и сохранения и перезаписываются для постоянного хранения на компакт – диски [17].

Данные трехкомпонентной станции передаются в тот же компьютер, что и данные сейсмической группы. Данные сейсмической группы объединяются с данными станции и сохраняются в кольцевом буфере. Поступающая информация автоматически обрабатывается и сохраняется на компакт-дисках. Кольцевой буфер периодически (раз в 30 минут) просматривается подсистемой детектирования программного комплекса «EL» [18, 19], которая обнаруживает сейсмические события, извлекает соответствующие им фрагменты волновых форм и сохраняет их в виде файлов в формате CSS 3.0.

Результаты обработки (локации) обнаруженных событий также сохраняются в виде базы данных, согласованной с волновыми формами.

Таким образом, системы мониторинга сейсмичности можно разделить по типу сейсмических сетей или по масштабу территории, объекта наблюдения: телесеismicкие, региональные и локальные. Существует множество различных типов сейсмических регистраторов. Не все производители сейсмической аппаратуры предоставляют программное обеспечение для сбора и обработки сейсмических данных. Выбор применяемых программных средств для передачи и обработки сейсмических данных зависит от используемой сейсмической аппаратуры, системы хранения и формата представления первичных материалов наблюдения, типа сейсмической сети (телесеismicкая, региональная) и других внешних условий.

1.1.2 Программные средства сбора первичных материалов наблюдений с сейсмических станций

Региональные сети ГС РАН для передачи данных о землетрясении с сейсмических станций в срочном или оперативном режиме используют стандартные средства связи: радиосвязь, телефонная связь, Internet. 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 «**AutoDRM**» [20]. 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». Основные принципы функционирования («AutoDRM») заключается в следующем: соединение устанавливается, используя протоколы электронной почты; сформированные запросы направляются по электронной почте на адрес сейсмостанции или сервера с помощью «AutoDRM»; «AutoDRM» читает запрос, и соответствующие фрагменты запрашиваемых цифровых записей записывает в файл; в зависимости от

выбора пользователя запрашиваемые данные незамедлительно отправляются по электронной почте или направляются на определенный FTP сервер.

«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.

USGS разработала механизм для распространения цифровых сейсмических данных в оперативном режиме через Интернет. Механизм распространения данных назван «**Действующим Интернет Сейсмическим Сервером**» («LISS») [21].

«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.

Несколько ранее центром IRIS разработана оперативная система сбора сейсмических данных в режиме времени, близком к реальному («**NRTS - Near Real Time System**») [22], которая также обеспечивает быстрый доступ к сейсмическим данным.

Большинство станций IRIS/IDA соединено через глобальную сеть (WAN) с Центром сейсмических данных IRIS/IDA в Калифорнии и через этот центр с IRIS/DMC

в Сиэтле, а далее с пользователями через Интернет. 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.

«SeedLink» – высокоуровневый протокол передачи сейсмических данных по TCP/IP [23, 24]. Модуль «SeedLink» входит в состав сейсмического пакета «Seiscomp3», используемый для регистрации сейсмических данных, контроля качества данных и обработки. «Seiscomp3» разработан совместно GFZ (Немецкий исследовательский центр наук о Земле) и gempa GmbH [25].

Протокол «Seedlink» поддерживается для большого количества типов регистраторов: Guralp, Nanometrics, Quanterra. Для хранения и передачи сейсмических данных используется, как правило, формат файлов MiniSeed [26].

Представляет клиент-серверное программное обеспечение, соединение инициируется клиентом. Передача данных осуществляется в виде пакетов в режиме FIFO для каждой станции. «SeedLink» возможно использовать при dialup-соединении через протоколы SSH и VPN.

Для получения непрерывных цифровых записей в Информационно-обрабатывающем центре с сети станций в Камчатском филиале используется программа «**Дисплей реального времени**», разработанная в КФ ГС РАН [13, 15].

Основные функции программы: устанавливает соединение с сервером; прием пакетов данных в реальном режиме времени, запись их в кольцевой буфер на локальный диск; фильтрация данных [27]; отображение текущих данных на экране монитора; выдача на монитор текущей оценки регистрируемой сейсмической интенсивности по амплитуде ускорений и скоростей; оценка расстояния до возможного эпицентра землетрясения с магнитудой $M > 7$ по уравнению макросейсмического поля; звуковой сигнал дежурному оператору при сильном землетрясении; запуск программы обработки

для более детального анализа и уточнения положения гипоцентра в автоматизированном режиме.

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) [26, 28–30]. Чаще всего программное обеспечение имеет закрытый режим разработки, что затрудняет адаптацию под определенные условия функционирования.

Передача первичных материалов наблюдений с региональных сейсмических сетей ГС РАН в центры сбора информации в режиме реального времени осуществляется проблематично в связи с плохой оснащенностью обсерваторий средствами связи Internet (коммутационным оборудованием).

Всего несколько филиалов Геофизической службы РАН производят сбор непрерывных сейсмических данных в режиме реального времени (Камчатский филиал ГС РАН, Кольский филиал ГС РАН, Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН). Как правило, для этого производится адаптация известных программных решений или разрабатывается собственное программное обеспечение, настроенное под конкретные условия сейсмической сети.

1.1.3 Программы автоматического определения эпицентров землетрясений

Программных решений для автоматического определения основных параметров сейсмических событий существует намного меньше, чем автоматизированных сейсмологических пакетов.

Большую популярность в мире для обработки данных получаемых с телесеизмических сетей получил программный пакет «**Seiscomp 3**» [25] и входящие в него модули для автоматического детектирования сейсмических волн «**Scautopick**» [31] и автоматической локации события «**Scautoloc**» [32].

Модуль «Scautopick» производит поиск аномалий сигнала в виде изменения амплитуды. Для этого производится предварительная фильтрация сигнала фильтром Баттерворта третьего или второго порядка, поиск фаз с помощью детектора STA/LTA – превышение значений средних амплитуд в коротком и длинном временных окнах [33, 34]. Превышение STA/LTA в 1.5–3 раза соответствует времени вступления продольной сейсмической волны Р, для найденной волны замеряется амплитуда. Вычисляются магнитуды для полученных амплитуд по набору цифровых записей.

Модуль «Scautoloc» связывает выставленные пики и замеренные амплитуды в эпицентр. Производится фильтрация пиков для устранения ложных срабатываний детектора на помехи. После производится ассоциация пиков с уже известным решением, определенным эпицентром землетрясения, или производится нуклеация – первый поиск эпицентра по сетке. При ассоциации пиков с известным решением эпицентр землетрясения уточняется. Последним этапом производится оценка решения, критерием качества решения являются невязки вступлений сейсмической волны Р и соответствующее отношение STA/LTA. Автоматическая обработка землетрясения возможна при наличии вступлений сейсмической волны Р на семи и более сейсмических записях. Результаты обработки помещаются в базу данных. Для визуализации решений и генерации отчетов необходимо подключение и настройка других модулей пакета «Seiscomp 3». С помощью сейсмологического программного пакета «Seiscomp 3» в течение 3–5 минут можно получить основную информацию о произошедшем землетрясении (время возникновения, географические координаты, магнитуда события).

Далее рассмотрены программные решения для автоматического определения параметров землетрясения по данным региональной сейсмической сети.

В Камчатском филиале ГС РАН используется система автоматической оценки параметров очагов землетрясений, представляющая собой **программный комплекс «БЛИЦ»** («Быстрая локализация источника цунами») [15, 16], специально разработанный в КФ ГС РАН для нужд Системы предупреждения цунами. В настоящее время он несет, в основном, информационную функцию, предоставляя оператору детали и общую картину хода автоматической оценки в реальном времени.

Основные функции программного комплекса «БЛИЦ»: детектирование и сопровождение сигналов; оценки азимута на событие, вступлений продольных и

поперечных сейсмических волн, максимума поверхностной волны; оценка координат эпицентра; оценка магнитуд, оценка значений инструментальной интенсивности сотрясений [15].

«БЛИЦ» ориентирован на обработку сильных землетрясений с магнитудой большей 5.5 Дальневосточного региона. Результаты эксплуатации программного комплекса показали среднюю невязку определения координат землетрясения (по отношению к данным независимых агентств) менее 100 километров. Система разработана с учетом особенностей сейсмической сети КФ ГС РАН и сейсмической активности региона. Программный комплекс «БЛИЦ» эксплуатируется в составе первой очереди сейсмической подсистемы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России, позволяет производить оценку сильных землетрясений в течение 3–10 минут с момента возникновения события.

В Кольском филиале ГС РАН для автоматической обработки данных станций Апатиты и Апатитская группа реализованы модули в **программном комплексе «EL»** [17–19]. Кольцевой буфер периодически (раз в 30 минут) просматривается подсистемой детектирования программного комплекса «EL», которая обнаруживает сейсмические события, извлекает соответствующие им фрагменты волновых форм и сохраняет их в виде файлов в формате CSS 3.0. Результаты обработки (локации) обнаруженных событий также сохраняются в виде базы данных, согласованной с волновыми формами. Процессы детектирования и локации состоят из обнаружения фаз сейсмических волн с помощью детектора STA/LTA, а затем в оценке для ячеек сетки рейтинговой функции, определяющей вероятность того, что в данной ячейке произошло сейсмическое событие. Локация производится модифицированным методом, идейно близким к методу «Generalized Beamforming», производится максимизация рейтинговой функции в ячейках сетки, сетка адаптивно модифицируется несколько раз [35]. Подробно алгоритмы детектирования и локации изложены в диссертации Асминга В.Э [19].

Программы для автоматического определения основных параметров землетрясений, ориентированные на обработку региональных сейсмических событий, разработаны с учетом следующих факторов: система сбора и хранения первичных материалов наблюдения, сейсмическая активность региона, методика расчета эпицентра землетрясения в регионе, необходимые выходные данные (вид магнитуд, энергетического класса).

1.2 Региональная сейсмическая сеть Прибайкалья

Территория Прибайкалья и Забайкалья относится к высокосейсмичным регионам России [36]. Наиболее сильные землетрясения региона: Цаганское 12.01.1962 г. ($M=7.5$), Муйское 27.06.1957 г. ($M=7.6$) и Мондинское 05.04.1950 г. ($M=7.0$) [37] произошли в пределах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). События последнего времени также подтверждают высокий уровень сейсмической опасности территории: Южно-Байкальское землетрясение 25.02.1999 г. ($M_w=6.0$) [38]; Кичерское 21.03.1999 г. ($M_w=6.0$) [39] и Култукское 27.08.2008 г. ($M_w=6.3$) [40].

Контроль развития сейсмического процесса в регионе проводится сейсмической сетью Байкальского филиала ГС СО РАН, состоящей из 25 сейсмостанций (международный код ВУКЛ) [1]. Двенадцать сейсмостанций расположены на территории Республики Бурятия, восемь на территории Иркутской области, пять в Забайкальском крае (рисунок 1.1, таблица 1.1).

Двадцать одна сейсмическая станция расположены в пределах собственно Байкальской рифтовой зоны, в которой регистрируется максимальное количество землетрясений, и четыре станции – вне зоны; они обеспечивают регистрацию транзитных землетрясений и уточняют локацию эпицентров внутри Байкальской сейсмической зоны.

Кроме сейсмических станций БФ ГС СО РАН в Прибайкалье и Забайкалье установлены семь сейсмических станций локальной сети Бурятского филиала ГС СО РАН (рисунок 1.1). Данные наблюдений этих станций используются только при сводной обработке землетрясений Байкальского региона.

На всех сейсмических станциях БФ ГС СО РАН ведется непрерывная цифровая регистрация. Станции (ЦСС «Байкал-10, 11», «МС») имеют три короткопериодных сейсмометрических канала повышенной чувствительности, регистрирующие скорости смещения почвы (сейсмометры СМ-3 или СМ-3КВ, $T_s=2.0$ с, $D_s=0.5$), примерно, от 0.1–0.01 $мкм/с$ до 100–1000 $мкм/с$ и три грубых канала (сейсмометры ОСП-2М), регистрирующие ускорения грунта от 5–50 $мкм/с^2$ до 100–500 $см/с^2$. Полоса

пропускания на уровне $0.9 \cdot V_m$ у ЦСС «Байкал-10» составляет 0.5–10 Гц, у «Байкал-11», «МС» – 0.5–20 Гц. Частота дискретизации 100 отсчетов в секунду [2].

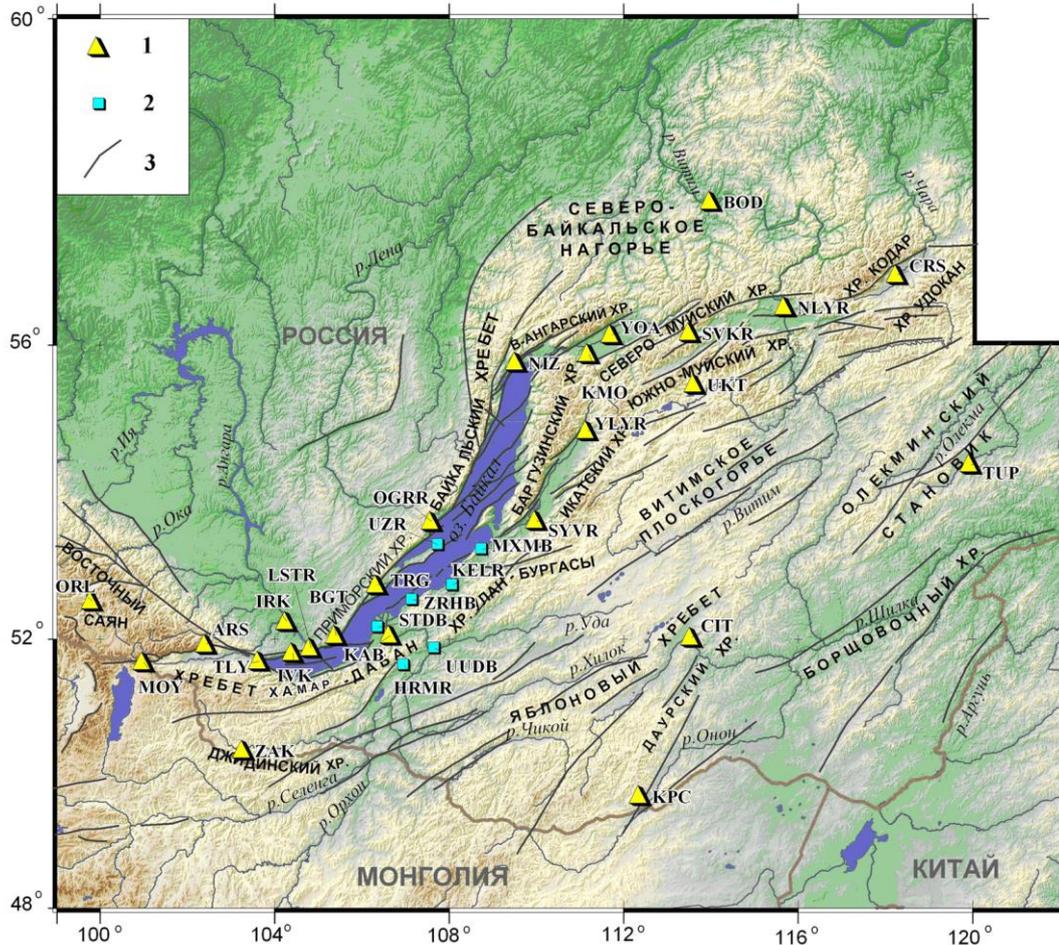


Рисунок 1.1. Сейсмические станции Прибайкалья и Забайкалья в 2013 году
1 – ЦСС Байкальского филиала ГС СО РАН, 2 – ЦСС Бурятского филиала ГС СО РАН,
3 – активные в кайнозое разломы.

Таблица 1.1. Сейсмические станции Прибайкалья и Забайкалья

Сейсмическая станция	Международный код		Координаты		Высота, м	Средство связи с Интернет
	сети	станции	φ , °с.ш.	λ , °в.д.		
1	2	3	4	5	6	7
Аршан	ВУКЛ	ARS	51.920	102.421	946	GPRS модем
Бодайбо	ВУКЛ	BOD	57.819	114.005	245	GPRS модем
Большое Голоустное	ВУКЛ	BGT	52.045	105.407	466	GPRS модем
Закаменск	ВУКЛ	ZAK	50.382	103.281	1200	GPRS модем
Ивановка	ВУКЛ	IVK	51.801	104.414	470	Локальная сеть
Иркутск	ВУКЛ	IRK	52.243	104.271	467	Локальная сеть
Кабанск	ВУКЛ	KAB	52.050	106.654	468	GPRS модем

Сейсмическая станция	Международный код		Координаты		Высота, м	Средство связи с Интернет
	сети	станции	φ , °с.ш.	λ , °в.д.		
1	2	3	4	5	6	7
Кумора	BYKL	KMO	55.887	111.203	490	GPRS модем
Листвянка	BYKL	LSTR	51.868	104.832	450	Локальная сеть
Монды	BYKL	MOY	51.668	100.993	1349	GPRS модем
Неляты	BYKL	NLYR	56.491	115.703	596	GPRS модем
Нижнеангарск	BYKL	NIZ	55.775	109.542	509	GPRS модем
Онгурены	BYKL	OGRR	53.644	107.596	505	GPRS модем
Орлик	BYKL	ORL	52.535	99.808	1375	GPRS модем
Северомуйск	BYKL	SVKR	56.159	113.520	850	GPRS модем
Суво	BYKL	SYVR	53.659	109.999	530	GPRS модем
Талая	BYKL	TLY	51.681	103.644	579	Спутниковый терминал
Тупик	BYKL	TUP	54.426	119.954	714	GPRS модем
Тырган	BYKL	TRG	52.760	106.347	593	GPRS модем
Уакит	BYKL	UKT	55.489	113.627	1140	Спутниковый терминал
Улюнхан	BYKL	YLYR	54.875	111.163	582	GPRS модем
Уоян	BYKL	YOA	56.134	111.724	503	GPRS модем
Халчеранга	BYKL	KPC	49.704	112.378	1067	GPRS модем
Чара	BYKL	CRS	56.900	118.269	700	GPRS модем
Чита	BYKL	CIT	52.021	113.552	759	GPRS модем
Заречье	BURS	ZRNB	52.554	107.152	480	Нет связи
Котокель	BURS	KELR	52.763	108.078	460	Нет связи
Максимиха	BURS	MXMB	53.263	108.745	510	Нет связи
Степной Дворец	BURS	STDB	52.169	106.366	458	Нет связи
Улан-Удэ	BURS	UUDB	51.867	107.663	600	Нет связи
Хурамша	BURS	HRMR	51.628	106.955	620	Нет связи
Узур	BURS	UZR*	53.323	107.741	480	Нет связи
Горячинск	BURS	GOR*	52.986	108.285	480	Нет связи

* Код станции не является международным.

На цифровых сейсмических станциях используется программа регистрации «RegA05», разработанная специалистами ОМЛП СО РАН (Семибаламут В.М., Рыбушкин А.Ю.) [41]. Программа регистрации обеспечивает оповещение с помощью звукового сигнала о достаточно сильном событии. Сигнал призывает операторов к срочной обработке.

Центральная сейсмическая станция «Иркутск», опорная станция сейсмической сети РАН, является региональным центром сбора и обработки материалов наблюдений по данным всех станций филиала в срочном режиме. Станция «Иркутск» участвует в службе срочных и оперативных донесений ГС РАН, ГС СО РАН, а также обеспечивает оперативное оповещение главных управлений МЧС России по Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальскому краю и местных органов исполнительной власти о землетрясениях.

Сейсмическая станция «Талая» входит в телесеismicкую сеть РАН, которая интегрирована в систему глобальных сейсмических наблюдений земного шара. Остальные станции филиала – региональные.

Для передачи данных со станций сети в центр сбора сейсмологической информации – сейсмостанцию «Иркутск» используются разные виды связи. Самая традиционная для Прибайкалья – голосовая связь с помощью радиостанций КВ диапазона, которыми оборудованы большинство станций филиала, также используются стационарные и мобильные телефоны. В настоящее время все сейсмостанции имеют выход в Internet. На большинстве сейсмостанций Internet обеспечивается GPRS модемами. Используемые сетевые технологии не позволяют передавать весь объем первичных материалов наблюдений с сейсмостанций в центр сбора информации.

Помимо этого на 6 станциях в рамках виртуальной сети широкополосных датчиков на территории Сибири, в дополнении к имеющейся сейсмической аппаратуре, ведется регистрация трехкомпонентными широкополосными высокочувствительными сейсмометрами «Guralp CMG-3ESPCD». Передача данных от сейсмометров «Guralp CMG-3ESPCD» осуществляется на сервер в центр сбора и обработки в режиме реального времени. Из-за плохого качества связи (мобильный интернет), в случаях отсутствия передачи данных в он-лайн режиме, организована докачка записей через протокол rsync, а также записи приходят в центр сбора на CD/DVD дисках.

Обработка сейсмических данных в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН включает: обработку наблюдений на каждой сейсмической станции; срочную сводную обработку наблюдений сильных близких землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 12$; оперативную сводную обработку наблюдений землетрясений Прибайкалья с $K_p \geq 9.5$; сводную обработку всех землетрясений Прибайкалья, зарегистрированных станциями сети.

1.3 Модели информационных процессов мониторинга сейсмической активности

Основные требования, предъявляемые к процессу мониторинга сейсмической активности: обеспечение постоянного, непрерывного сейсмического мониторинга закрепленной территории, получение информации о произошедших сейсмических событиях в кратчайшие сроки (в режиме времени близком к реальному).

Цель построения функциональной модели любого процесса заключается в специфицировании операций и действий, выполняемых в процессе, и взаимосвязей между ними. При адекватном построении функциональная модель обеспечивает полное представление о функционировании исследуемого процесса и обо всех потоках информации и ресурсов, имеющихся в нем. Для построения моделей процесса мониторинг сейсмичности была использована методология SADT [42, 43]. Нотация IDEF0 – один из графических языков функционального моделирования, используемый для документирования процессов и отображения информации об использовании ресурсов на каждом из этапов проектирования систем [42].

1.3.1 Универсальная модель процесса мониторинга сейсмической активности

Универсальная модель процесса мониторинга сейсмической активности применяется в большинстве международных сейсмологических агентствах (USGS, EMSC, NEIC) и в некоторых филиалах Геофизической службы РАН: АСФ ГС СО РАН, КФ ГС РАН [3–8].

Универсальная функциональная модель включает выполнение процессов (рисунок 1.2):

1. Непрерывная регистрация событий цифровыми сейсмическими станциями. Записанные последовательности временных данных сохраняются в специальном формате представления (Seed, MiniSeed, gcf) [26, 28–30].

2. Передача цифровых записей в центр сбора информации (ЦСИ). С сейсмических станций по специальным протоколам (Seedlink, NRTS, LISS) в непрерывном режиме передаются зарегистрированные данные [21–24]. Поступающие данные сохраняются в архиве сервера центра сбора.

3. Предварительная обработка поступающих записей в центре сбора (ЦСИ). Процесс включает в себя фильтрацию поступивших записей для выделения полезного сигнала от шума и детектирование сейсмических волн – выделение и группировка вступлений сейсмических волн.

4. Обработка выделенного сейсмического события – определение основных параметров землетрясения (время в очаге, географических координат, магнитуды события) по набору времен вступления сейсмических волн и соответствующих значений амплитуд.

5. Добавление информации о землетрясении в базу данных и каталоги сейсмологического агентства.

Процессы 2–4 (рисунок 1.2) выполняются с помощью утилит международного программного сейсмологического пакета Seiscomp3, также имеются программные решения филиалов Геофизических служб РАН: БЛИЦ, EL и др. [14–19, 23, 25, 31, 32].

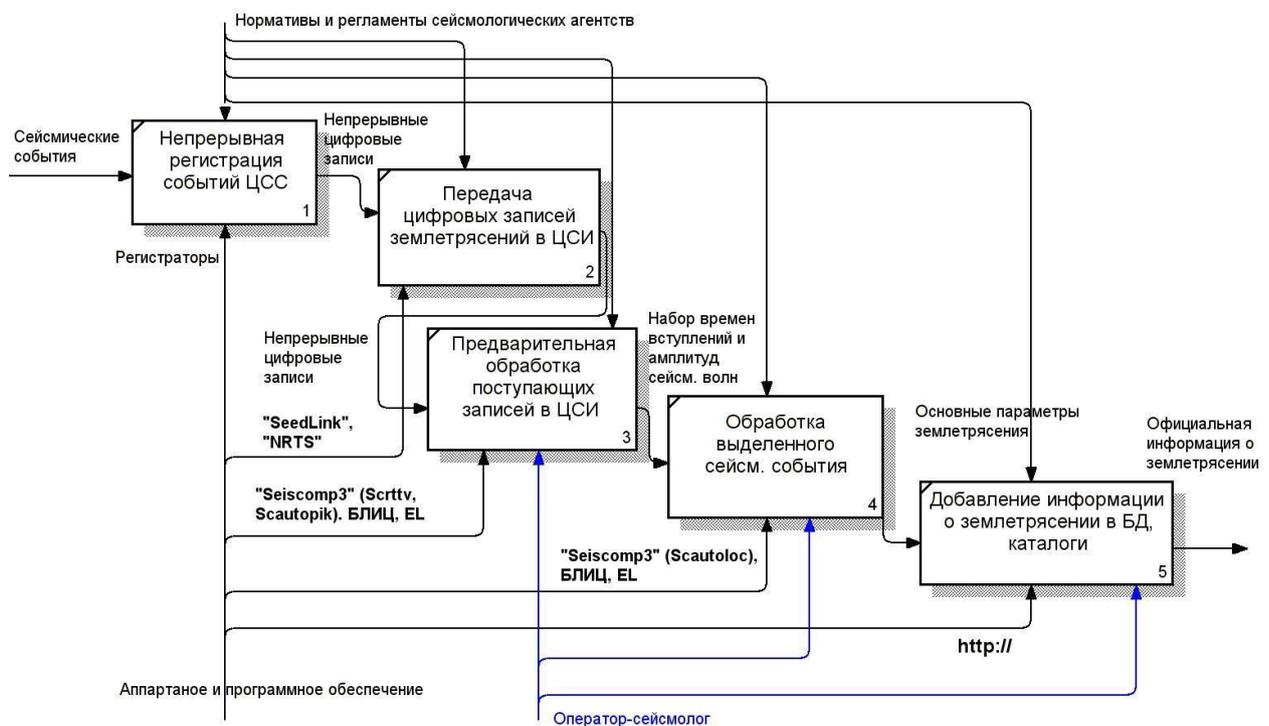


Рисунок 1.2. Универсальная функциональная модель процесса – Мониторинг сейсмической активности

На этапах 3–5 (рисунок 1.2) предусмотрено вмешательство оператора-сейсмолога для корректировки получаемых результатов или выполнение процессов самостоятельно, вручную (выбор фильтра, снятие времен вступления сейсмических волн, измерение амплитуд, выбор шкалы магнитуд). Программная реализация данной модели позволяет получать информацию, о произошедшем сейсмическом событии, в течение 5–15 минут с момента возникновения землетрясения.

Применение универсальной мировой модели и поддерживающих ее программных решений для региона Прибайкалья и Забайкалья ограничено следующими условиями:

- отсутствие программных решений для сбора и автоматической обработки сейсмограмм, представленных в формате файла *Baikal*, используемом при регистрации цифровых сейсмических записей в БФ ГС СО РАН;
- располагаемые средства связи и качество Интернет на сейсмических станциях не позволяет передавать все непрерывные зарегистрированные сейсмологические данные;
- существующие программы автоматической локации эпицентров землетрясений ориентированы на обработку данных поступающих с телесеизмических станций, а не с региональной сети;
- для Байкальской сейсмологической школы характерно оценивать силу события по энергетическому классу, в отличие от мировой практики, где для оценки силы используется шкала магнитуд;
- реализующее универсальную модель программное обеспечение чаще всего имеет закрытый режим разработки, что затрудняет адаптацию под исследуемый регион.

1.3.2 Функциональная модель сейсмического мониторинга, использовавшаяся в БФ ГС СО РАН

Так как тема диссертационной работы – ИАС для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, рассмотрена функциональная модель сейсмического мониторинга, использовавшаяся в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН в 2005–2010 гг. (рисунок 1.3).

Главная функция Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН – обеспечение непрерывного сейсмического мониторинга территории Восточной Сибири

для сейсмического районирования и прогноза землетрясений, оперативное оповещение центральных и местных органов исполнительной власти, заинтересованных ведомств и организаций о произошедших сильных землетрясениях и возможных последствиях.

Технология проектирования сложных систем подразумевает создание двух типов функциональных моделей предметной области: модели существующей организации процесса (as-is) и модели желаемой организации процесса (to-be) [42, 43]. С учетом анализа найденных недостатков в модели as-is строится модель to-be и окончательный вариант системы.

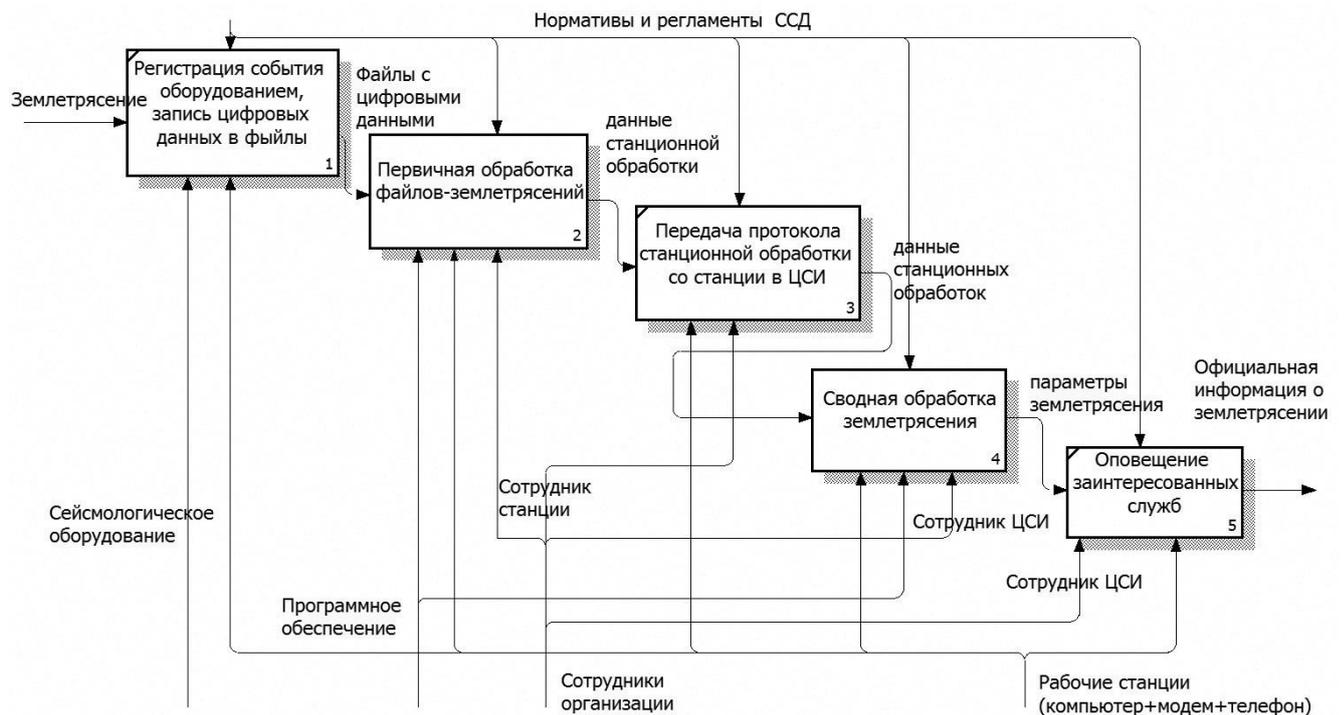


Рисунок 1.3. Функциональная модель процесса – Мониторинг землетрясений Прибайкалья и Забайкалья (диаграмма as-is)

Основным процессом является «Мониторинг сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья». На рисунке 1.3 представлена диаграмма as-is декомпозиции основного процесса.

Цифровая сейсмическая станция постоянно в непрерывном режиме осуществляет регистрацию событий, происходящих в земной коре. При регистрации землетрясения, если амплитуда колебаний волн превышает установленный критерий, происходит срабатывание сигнализации для привлечения сотрудников станции. Сотрудники станции должны в срочном режиме произвести обработку записанного файла, содержащего волновые формы произошедшего землетрясения, обработка производится специальной прикладной программой в автоматизированном режиме. В результате

обработки получают файлы-протоколы, содержащие информацию: время вступления волн, максимальные амплитуды и соответствующие периоды волн, энергетический класс, время в очаге, расстояние до очага.

При наличии доступа к сети Интернет сотрудники отправляют данный файл по электронной почте на адрес центра сбора информации, в противном случае передача данных производится по голосовой связи: радиосвязь или телефонная связь.

Инженер центра сбора должен принять все пришедшие сообщения по телефону и радиосвязи с разных станций, принять данные, поступившие по электронной почте, сформировать входной файл с параметрами землетрясения, определенных с помощью разных станций.

После сотрудник производит сводную обработку с помощью расчетной программы «Региональная зона», которая производит анализ сформированного входного файла и производит расчет основных параметров землетрясения относительно всех станций, подавших срочные донесения [44]. Результаты сводной обработки инженер центра сбора информации должен передать заинтересованным ведомствам.

В представленной модели as-is были выявлены следующие недостатки: большая часть процессов кроме процесса регистрации землетрясения зависит от человеческих факторов, и возможны появления ошибок, связанных с этим фактором; инженеры центра сбора располагают только результатами станционных обработок, не имеют цифровых сейсмограмм, исходных данных и, соответственно, не могут отслеживать правильность полученных данных; тратятся значительные временные ресурсы на процессы обработки и передачи данных (оповещение заинтересованных ведомств производилось спустя 60–90 мин с момента возникновения землетрясения).

Последующий анализ информационных процессов модели мониторинга сейсмической активности выявил отрицательные факторы:

1. Необходимость в постоянном контроле сотрудниками станций за появлением сейсмических событий.
2. В подаче срочных сейсмологических донесений участвуют не все станции, зарегистрировавшие данное землетрясение.
3. Наблюдается большое количество ошибок при первичной станционной обработке сейсмологических данных, связанных с человеческим фактором.

4. На оповещение директивных органов о случившемся землетрясении отводится определенное контрольное время с момента регистрации события, поэтому доставка срочных сейсмологических донесений и их сводная обработка должны быть выполнены в кратчайшие сроки.

5. Географическое расположение сейсмостанций, используемые средства связи и недостаточное финансирование не позволяют организовать непрерывную передачу первичных материалов наблюдений с сети в центр сбора информации в режиме реального времени.

Всё это негативно сказывается при выполнении главной функции, а именно на оперативности и точности локализации сейсмического события и на сроках оповещения заинтересованных органов о произошедшем землетрясении.

1.3.3 Предлагаемая функциональная модель мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья

После выявления существующих недостатков модели as-is («как есть»), использовавшейся в БФ ГС СО РАН и невозможности применения универсальной мировой модели, предложена функциональная модель to-be («как будет») мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья (рисунок 1.4).

Мониторинг сейсмичности региона в автоматическом режиме включает выполнение процессов:

1. Непрерывная регистрация сейсмического фона цифровыми станциями.
2. Первичный анализ регистрируемых данных на каждой сейсмической станций с целью выделения фрагментов записей с превышениями по амплитудам.
3. Передача фрагментов сейсмических записей, имеющие превышения по амплитудам скоростей и ускорений, со станций в центр сбора (ЦСИ).
4. Сбор и анализ поступающих фрагментов записей в центре сбора.
5. Распознавание среди поступающих цифровых записей сейсмограммы региональных землетрясений. Выделение сейсмического события среди набора поступивших файлов-записей.
6. Автоматическая обработка выделенного регионального землетрясения с целью получения основных параметров.

7. Оценка полученных результатов оператором-сейсмологом и оповещение заинтересованных служб о произошедшем сильном землетрясении.

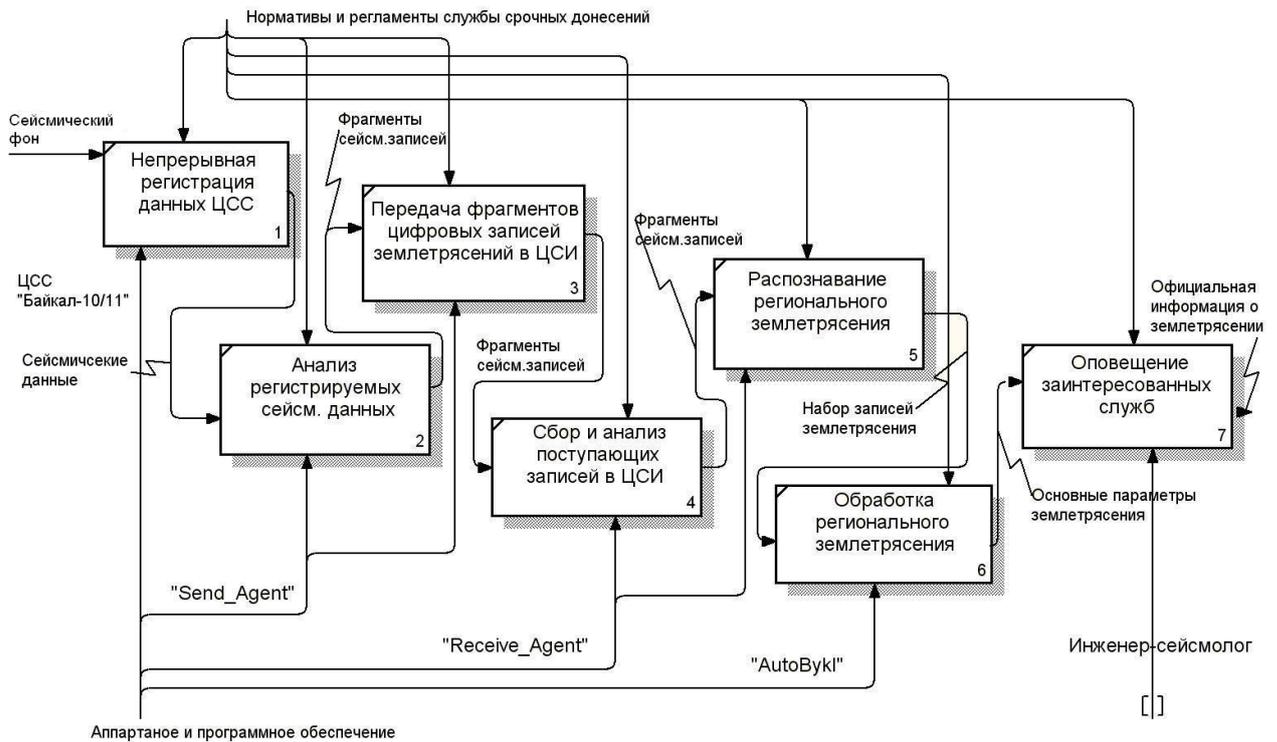


Рисунок 1.4. Функциональная модель процесса – Мониторинг сейсмической активности Прибайкалья и Забайкалья (диаграмма to-be)

1.4 Архитектура и требования к информационно-аналитической системе мониторинга землетрясений

1.4.1 Архитектура ИАС мониторинга землетрясений

Устранение выявленных недостатков существующей системы контроля сейсмического режима возможно с помощью информационно-аналитической системы (ИАС), выполняющей основные функции сейсмического мониторинга (рисунок 1.4).

На основании построенной функциональной модели разработана архитектура информационно-аналитической системы мониторинга сейсмичности (рисунок 1.5).

Архитектура ИАС для мониторинга землетрясений состоит из четырех подсистем: подсистема передачи первичных материалов наблюдений с сети станций в центр сбора информации, подсистема регистрации и анализа, полученных в ЦСИ первичных материалов наблюдения, подсистема автоматической обработки региональных землетрясений и подсистема представления результатов мониторинга пользователям.

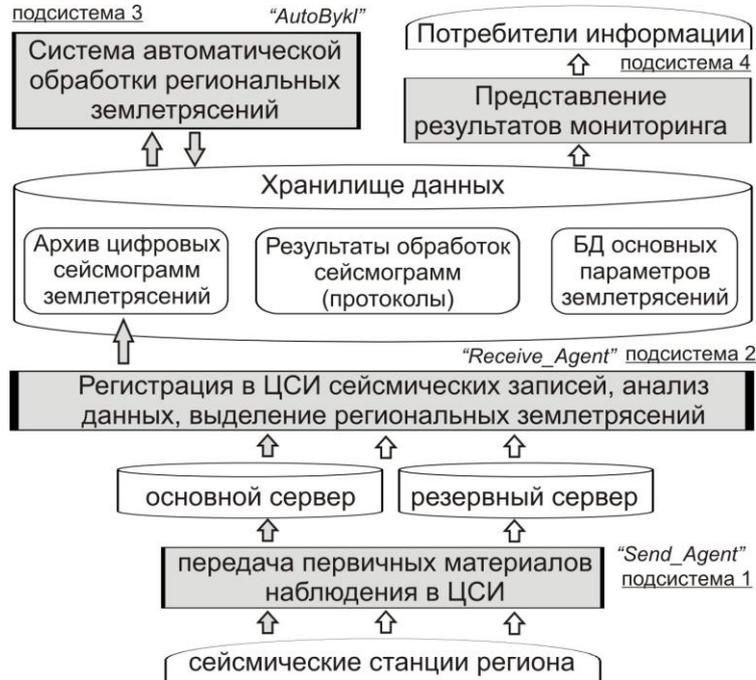


Рисунок 1.5. Архитектура информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений

1.4.2 Функциональные требования, предъявляемые к ИАС мониторинга землетрясений

Для осуществления мониторинга сейсмичности в режиме реального времени необходимо разработать компоненты ИАС, выполняющие сбор первичных материалов наблюдений сети станций в режиме времени, близком к реальному и автоматическую обработку набора цифровых сейсмограмм регионального землетрясения с целью получения основных параметров.

Необходимо разработать технологию сбора первичных материалов наблюдений с сети сейсмических станций, удовлетворяющую следующим требованиям:

1. Процессы передачи, сбора и анализа сейсмических данных должны осуществляться в

режиме реального времени или в режиме, близком к реальному времени.

2. Процессы передачи, регистрации и анализа поступающих цифровых записей должны осуществляться в автоматическом режиме.
3. Технология сбора первичных материалов наблюдения реализуется программным комплексом, состоящим из подсистемы, осуществляющей отправку цифровых записей с сейсмостанции, и модуля регистрации и анализа поступающих данных в центре сбора.
4. Сбор, обработка, хранение цифровых записей производится в формате файла `Baikal`, используемом в БФ ГС СО РАН при регистрации сейсмическими станциями.
5. Модуль передачи первичных материалов наблюдений должен быть адаптирован под функционирование определенной сейсмической станции.
6. Из-за невозможности передачи всего объема непрерывных цифровых сейсмических записей необходимо передавать фрагменты записей волновых форм землетрясений.
7. Автоматическое подключение и разъединение соединения при использовании удаленного доступа к Интернет.
8. Необходима визуализация поступающих в центр сбора сейсмических записей.
9. Распознавание сейсмограмм региональных землетрясений среди поступающих в центр сбора цифровых записей.
10. Обнаружение регионального землетрясения по набору цифровых сейсмических записей, и запуск программы автоматической обработки региональных землетрясений для определения основных параметров события.

Для определения основных параметров сейсмического события необходимо разработать алгоритм и программу обработки региональных землетрясений. К программе автоматического определения основных параметров регионального землетрясения предъявлены требования:

1. Входными данными для функционирования программы являются набор цифровых сейсмических записей в формате файла `Baikal`, полученных с помощью предложенной системы сбора первичных материалов наблюдений, имеющих схожее время начала сейсмограммы.
2. Выходными данными обработки сейсмического события являются географические координаты эпицентра, время в очаге и сила землетрясения (энергетический класс и магнитуда).

3. Обработка землетрясения производится с использованием двух прямых сейсмических волн: продольной P_g и поперечной S_g .
4. Использование алгоритма «Региональная зона» С. И. Голенецкого при расчете эпицентра землетрясения [44].
5. После каждого этапа обработки сейсмического события должен предоставляться полный протокол обработки землетрясения и карта эпицентра землетрясения.
6. Полученные результаты обработки землетрясения должны автоматически помещаться в базу данных и выводиться на странице сайта организации.
7. Необходим удобный интерфейс для настройки логики функционирования программы и отслеживания процесса обработки сейсмического события.

Для отображения основных требований к информационно-аналитической системе мониторинга сейсмичности построена диаграмма вариантов использования (прецедентов) (рисунок 1.6) .

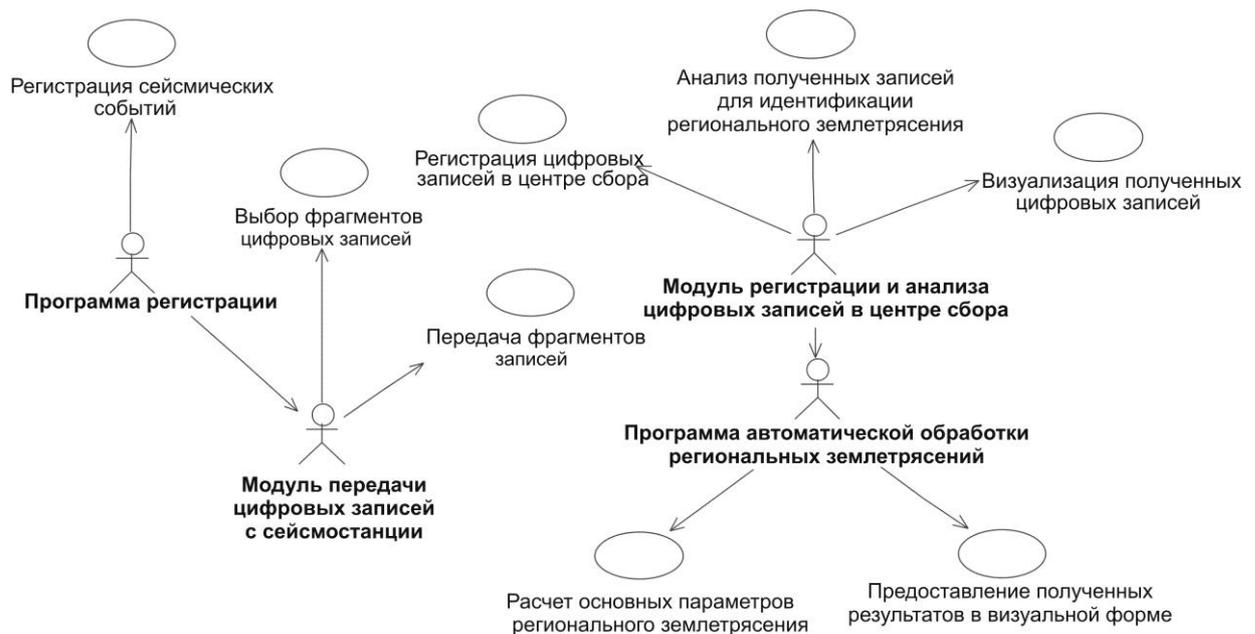


Рисунок 1.6. Диаграмма прецедентов проектируемой информационной системы

Диаграмма вариантов использования отображает взаимодействие между вариантами использования, представляющими основные функции системы, и действующими лицами, являющимися программными модулями, которые получают, обрабатывают и передают информацию в данной системе [45, 46]. Диаграмма показывает, какие действующие лица инициируют варианты использования.

1.5 Выводы

В первой главе проведен обзор современных систем мониторинга сейсмической активности, осуществляющих наблюдения в глобальном (GSN, EMSC), национальном (NEIC, ГС РАН) и региональном (КоФ ГС РАН, КФ ГС РАН) масштабах. Рассмотрены действующие сейсмические сети (GSN, KORS, KRSC), используемые технологии и программное обеспечение («LISS», «NRTS», «Seiscomp3», «БЛИЦ») для мониторинга землетрясений в режиме реального времени.

Выполнен анализ современной универсальной модели информационных процессов мониторинга сейсмической активности, применяющейся в сейсмологических агентствах. Сделан вывод, что применение универсальной модели мониторинга сейсмичности и поддерживающих ее программных решений для региона Прибайкалья и Забайкалья нецелесообразно. Рассмотренная функциональная модель информационных процессов мониторинга сейсмической активности, использовавшаяся в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН в 2005–2010 гг., устарела и не удовлетворяет современным требованиям к системам мониторинга.

Предложена новая функциональная модель информационных процессов мониторинга землетрясений, которая учитывает недостатки предыдущей модели и максимально приближена к универсальной мировой модели, что позволяет ей в полной мере удовлетворять современным требованиям к системам мониторинга: производить непрерывный автоматический контроль развития сейсмического процесса в регионе в режиме времени, близком к реальному. Разработана принципиальная архитектура информационно-аналитической системы мониторинга региональных землетрясений, реализующая предложенную модель и обеспечивающая сбор, хранение и анализ сейсмических данных в режиме времени, близком к реальному.

Поставлена задача разработать компоненты ИАС: технологию сбора первичных материалов наблюдения с сети станций в центр сбора информации, программу автоматического определения основных параметров региональных землетрясений. Сформулированы основные функциональные требования для ИАС мониторинга землетрясений.

Глава 2

Информационная инфраструктура Геофизической службы

2.1 Анализ деятельности Геофизической службы

Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН (БФ ГС СО РАН) выполняет фундаментальные и прикладные научные исследования в области сейсмологии и геофизики. Основными направлениями деятельности филиала являются непрерывная регистрация землетрясений цифровыми сейсмическими станциями, первичная и сводная обработка сейсмических событий, обеспечение службы срочных и оперативных донесений, подготовка сейсмологических материалов Прибайкалья и Забайкалья за определенные периоды, разработка методов анализа сейсмологической информации, обобщение полученных сейсмологических данных. Реализация этих видов деятельности предъявляет серьезные требования к организации хранения первичных данных наблюдений и результатов их обработки. Каждое подразделение организации выполняет свой круг обязанностей, но информационная разобщенность подразделений приводит к дублированию работ и данных, затрудняет обмен информацией и доступ к ней, а также приводит к потере информации. От качества организации информационного обмена в значительной степени зависит скорость и точность работы всех подразделений БФ ГС СО РАН.

Проведение различного рода анализа сейсмологических данных за большие периоды времени или данных, содержащих разнородные параметры, вызывает необходимость проведения дополнительных подготовительных работ. Это связано с

тем, что большая часть сейсмологической информации, накопленной за время проведения наблюдений, хранится разрознено и в различной форме. Так первичные материалы наблюдений в виде аналоговых сейсмограмм на бумажных носителях сохраняются в архиве с 1901 года, с 1997–1998 гг. цифровые сейсмические записи, полученные от разных станций, сохраняются на CD/DVD дисках. Результаты итоговой обработки землетрясений – основные параметры событий – хранятся в локальной базе данных. База данных «Параметры землетрясений Прибайкалья» содержит сведения с ноября 1993 года. Реализован свободный доступ через Интернет к каталогу землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 8.5$ (K_p – энергетический класс по номограмме Т. Г. Раутиан – параметр для измерения силы землетрясения [47]) и ограниченным числом полей-параметров. Результаты обработки землетрясений, произошедших ранее указанного периода, представлены в виде каталогов и бюллетеней в печатном виде. В настоящее время в виде отдельных файлов сохраняются характеристики сейсмостанций, макросейсмическая информация, механизмы землетрясений и другие сейсмологические данные.

В ходе обследования БФ ГС СО РАН проведен анализ деятельности подразделений этой организации: отдела сейсмического мониторинга (ОСМ), группы производства наблюдения (ГПН), группы методики обработки цифровых записей (ГМОЦЗ), группы сводной обработки (ГСО), центра сбора информации (ЦСИ) и группы анализа сейсмической информации (ГАСИ).

По результатам анализа построена диаграмма прецедентов с целью рассмотрения системы с точки зрения внешнего наблюдателя [46, 48]. Представленная диаграмма (рисунок 2.1) отображает взаимодействие между прецедентами, представляющими основные функции геофизической службы и актерами, представляющими подразделения организации, получающие или передающие информацию в данную систему.

Главной функцией отдела сейсмического мониторинга является непрерывная регистрация сейсмических данных. Также в их задачу входит первичная срочная обработка сильных землетрясений и передача полученных результатов в центр сбора информации.

Группа производства наблюдений занимается инженерно-техническим обеспечением, включающим ремонт, настройку, модернизацию и разработку сейсмологического оборудования, обслуживанием систем связи.

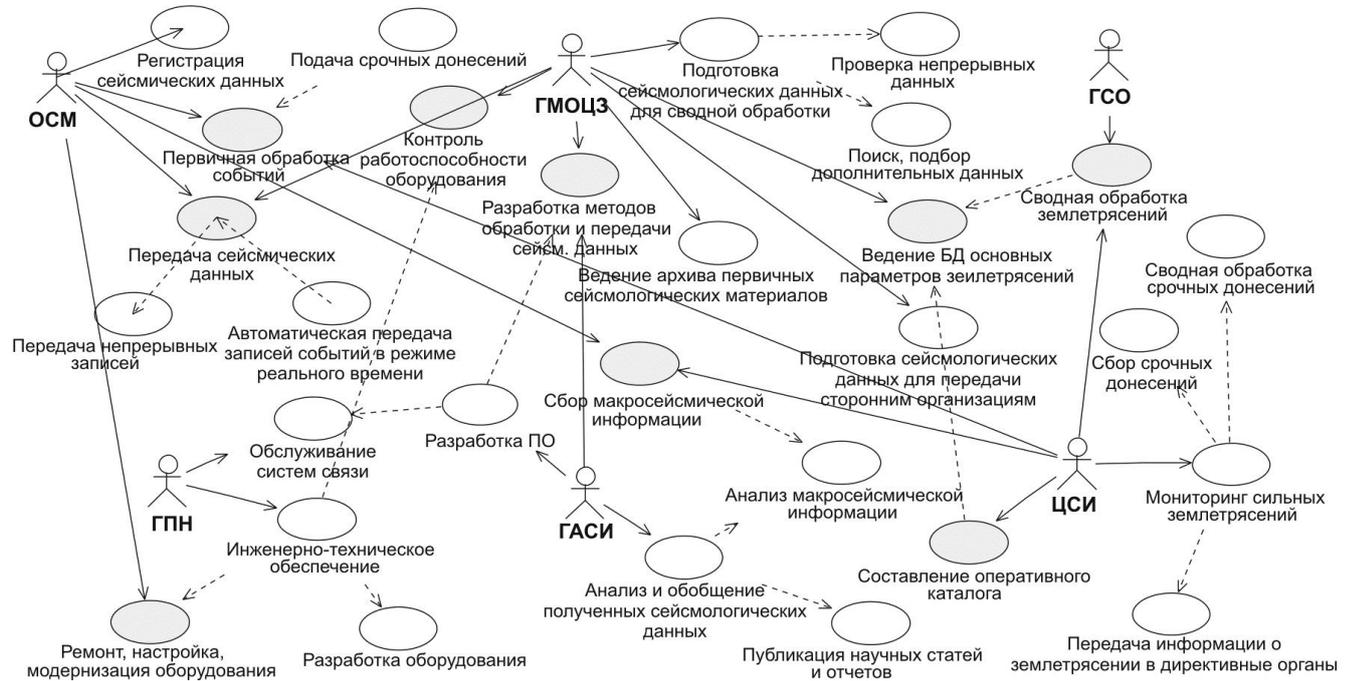


Рисунок 2.1. Диаграмма прецедентов основных функций, выполняемых подразделениями БФ ГС СО РАН

Подготовка первичных сейсмических данных для сводной обработки, разработка инструкций и методов для обработки сейсмических данных, ведение архива первичных материалов и базы данных основных параметров землетрясений, передача данных сторонним организациям – деятельность группы методики обработки цифровых записей.

Группа сводной обработки непосредственно занимается полной обработкой всех зарегистрированных землетрясений.

Мониторинг сильных землетрясений осуществляется в центре сбора информации, в срочном режиме производится обработка поступивших донесений с сети сейсмостанций и оповещение заинтересованных ведомств.

Анализ и обобщение полученных результатов обработки сейсмологических данных производится группой анализа сейсмической информации, по результатам выполненной работы публикуются научные статьи и отчеты.

На диаграмме (рисунок 2.1) представлены как функции, выполняющиеся индивидуально одним каким-то подразделением, так и функции (на диаграмме отмечены серым цветом), реализуемые несколькими подразделениями.

Для представления механизмов передачи и обработки информации в организации сформирована диаграмма потоков данных (Data Flow Diagram – DFD) (рисунок 2.2) [42, 43].

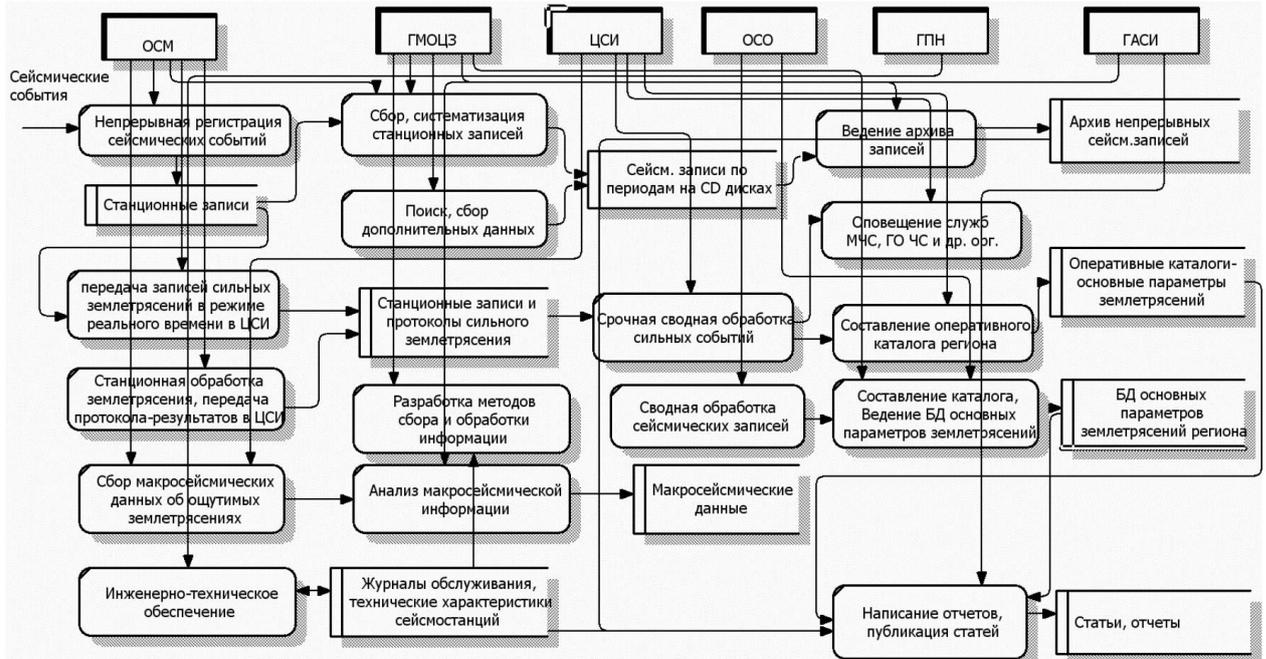


Рисунок 2.2. Диаграмма потоков данных, информации используемой в БФ ГС СО РАН

Диаграммы DFD используются для наглядного моделирования потоков данных между функциями, выполняемыми подразделениями организации и представления способов хранения данных.

На диаграмме потоков данных (рисунок 2.2) выделены следующие хранилища данных:

1. Станционные записи – зарегистрированные непрерывные цифровые сейсмические записи, получаемые с каждой сейсмостанции на CD-дисках за прошедший период 20–30 дней.

2. Сейсмические записи по периодам на CD-дисках – непрерывные данные со всех сейсмостанций сети БФ ГС СО РАН, а так же дополнительные данные, получаемые от сторонних организаций, на одном диске хранится подборка записей со всех станций за период 4–5 дней. Данные собираются и группируются сотрудниками ГМОЦЗ и передаются в ГСО для проведения точной обработки всех зарегистрированных землетрясений.

3. Архив непрерывных сейсмических записей представлен всей совокупностью цифровых сейсмических записей, хранимых на CD-дисках, и аналоговых сейсмограмм за весь период деятельности организации.

4. Станционные записи и протоколы сильных землетрясений – фрагменты волновых форм землетрясений и протоколы, содержащие результаты станционных обработок землетрясений, получаемые с сейсмостанции в ЦСИ в режиме времени, близком к реальному, хранятся в типизированных файлах.

5. Оперативные каталоги – основные параметры землетрясений, получаемые в результате проведения срочной ($K_p > 11$) и оперативной ($K_p > 9.5$) обработок землетрясений за определенный период времени. Хранятся в базе данных под управлением СУБД MySQL [49].

6. База данных основных параметров землетрясений – локальная БД, содержащая параметры землетрясений и станционные бюллетени, получаемые в результате проведения точной обработки сотрудниками ГСО. Реализована под СУБД Interbase [50].

7. Макросейсмические данные – заполненные анкетные данные об осязательности землетрясений людьми в определенных местах, результаты обследований территорий после сильных землетрясений, фотоматериалы и результаты анализа макросейсмических данных (карты изосейст, карты пункт-бальность) [51, 52]. Данные представлены в виде разрозненных файлов, имеющих различные текстовые форматы (doc и txt), а так же и в бумажном виде.

8. Журналы обслуживания, технические характеристики сейсмостанций – информация по каждой сейсмостанции об используемой аппаратуре и изменениях, связанных с техническими параметрами (коэффициенты, тип маятников, разрядность АЦП и др.). Информация представлена и сохраняется в бумажном виде.

9. Статьи, отчеты – публикации сотрудников БФ ГС СО РАН и научные отчеты хранятся в разрозненном виде.

Как видно из представленной диаграммы потоков данных доступ к любому из хранилищ данных необходим нескольким подразделениям.

Таким образом, существующая организация информационного обеспечения имеет целый ряд серьезных недостатков, связанных с устаревшими подходами к сбору, систематизации и хранения сейсмологической информации. Система хранения сейсмологических и связанных с ними данных разрознена, любая модернизация и

сложные выборки требуют значительных затрат времени, усилий и знания логики хранения информации. Не может быть обеспечена информационная безопасность, также отсутствует комплексное информационно-аналитическое обеспечение деятельности БФ ГС СО РАН. Всё это позволяет сделать вывод о том, что существующая информационная инфраструктура не отвечает современным требованиям и, следовательно, требуется ее модернизация и развитие для создания единого информационного пространства Геофизической службы.

2.2 Методика построения информационной инфраструктуры Геофизической службы

Проведенный анализ деятельности Байкальского филиала Геофизической службы позволяет сделать вывод о значительной гетерогенности способов хранения и методов обработки геофизических данных при осуществлении деятельности БФ ГС СО РАН, что делает необходимым разработку новой методики организации информационной инфраструктуры [53].

При создании информационной инфраструктуры очень важно четко определить цели и задачи, которые она должна выполнять, и учитывать максимум факторов, способных повлиять на ее работу в будущем.

Основными целями создания единого информационного пространства геофизической службы являются:

- 1) замена существующей разрозненной системы хранения сейсмических и связанных с ними данных единой взаимосвязанной системой,
- 2) повышение эффективности работы, связанной с систематизацией и обработкой данных, путем сокращения непроизводительных и дублирующих операций и операций, выполняемых «вручную», оптимизации информационного обмена;
- 3) снижение временных затрат пользователей при получении и анализе информации о сети сейсмических станций, сейсмичности Байкальского региона;
- 4) повышение качества предоставления информации за счет полноты, достоверности и удобства форматов отображения информации.

На основе проведенного анализа деятельности Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН сформулированы требования к построению информационной инфраструктуры, предназначение которой заключается в комплексном информационно-аналитическом обеспечении деятельности БФ ГС СО РАН, в частности, в исполнении следующих процессов:

1. Хранение данных, полученных в результате сейсмического мониторинга региона (каталоги землетрясений, база данных основных параметров событий, сейсмические записи, характеристики сейсмических станций и др.) в хранилище данных на сервере.

2. Организация информационного обеспечения пользователей данными, полученными в результате сейсмологических наблюдений, для обеспечения научных исследований.

3. Осуществление мониторинга сейсмической активности региона в режиме времени, близком к реальному.

4. Хранение информации о применяемых методах и программных средствах, используемых при обработке и анализе сейсмической информации.

5. Ведение хранилища, предназначенного для накопления и структурирования научных публикаций: обзоров, статей, отчетов, отражающих деятельность Геофизической службы.

6. Оперативное уведомление пользователей о внесении важных изменений в работу организации, в структуру данных или непосредственно в данные.

7. Организация и разграничение доступа к данным в соответствии с информационной политикой Геофизической службы.

2.2.1 Предполагаемый подход к построению информационной инфраструктуры научных исследований

Для построения качественно новой информационной инфраструктуры сформулированы основные системно-концептуальные соглашения:

1) для построения модели метаданных информационной инфраструктуры используется онтология – форма представления знаний предметной области (рисунок 2.3) [54, 55];

Онтология – формальная спецификация разделяемой концептуализации, имеющая место в некотором контексте предметной области. При этом под концептуализацией понимается, кроме сбора понятий, также вся информация, касающаяся понятий – свойства, отношения, ограничения, аксиомы и утверждения о понятиях, необходимые для описания и решения задач в избранной предметной области.

- 2) различные объекты информационной инфраструктуры на основе построенной онтологии описываются в виде метаданных;
- 3) построение центрального информационного компонента, Репозитария, осуществляется на базе технологии хранилищ данных [56];

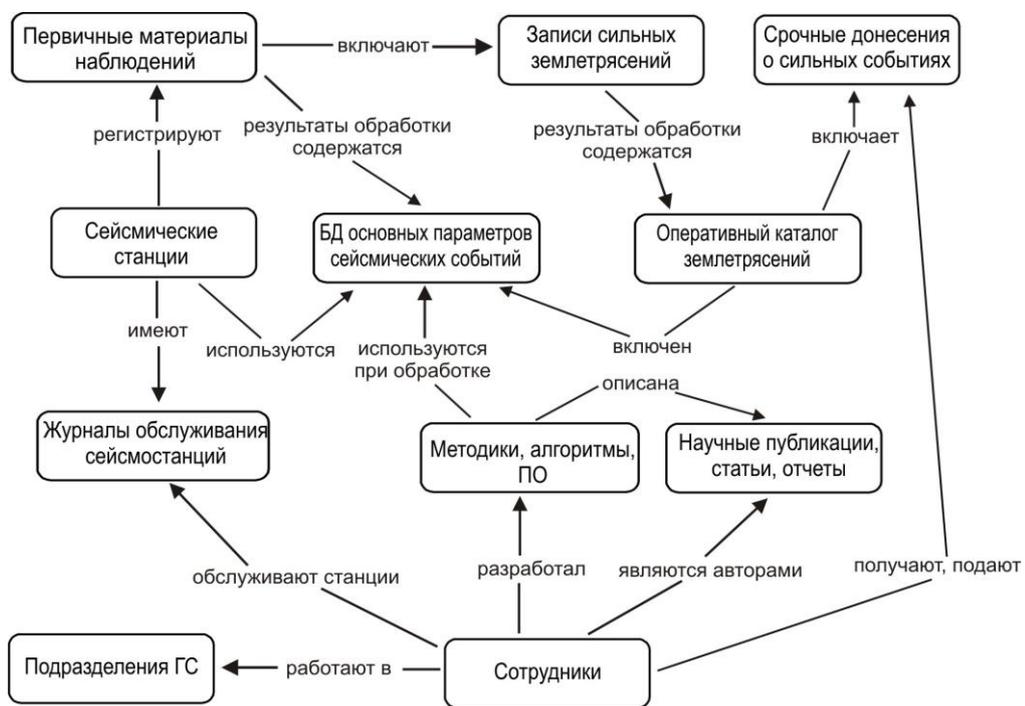


Рисунок 2.3. Модель метаданных информационной инфраструктуры

- 4) реализация Репозитария выполняется на базе реляционной системы управления базами данных (СУБД);
- 5) обмен с другими системами обеспечивается с помощью XML (расширяемый язык разметки) [57].

Информационная инфраструктура должна поддерживать выполнение следующих функций:

1. Создание и организация хранения описаний ресурсов геофизической службы, среди которых выделяются: информационные – базы данных, архив, наборы данных, онтологии; вычислительные – программы и программные комплексы; трудовые –

сотрудники организации; научно-исследовательские – НИР, проекты, гранты; сервисные – Web-сервисы; электронные – публикации; внутренние – вспомогательная информация для работы сервисов.

2. Поиск необходимого ресурса по метаданным (описаниям хранимых ресурсов).
3. Преобразование метаданных из внутреннего стандарта в общепринятые стандарты (например, XML [57]).
4. Создание и организация хранения онтологий предметных областей, научных исследований, ведущихся в геофизической службе.
5. Организационная, информационная и вычислительная поддержка исследований в геофизической службе.

2.2.2 Модель информационной инфраструктуры

Методика построения информационной инфраструктуры методологически обосновывается с помощью фрактальной стратифицированной модели (ФС–модели) информационного пространства, предложенной Л.В. Массель [58, 59]. ФС–модели позволяют описать информационное пространство, в которое отображается вся имеющаяся информация о данной предметной области, в виде совокупности непересекающихся слоев, объединяющих однотипные информационные объекты (обладающие одинаковым набором свойств или характеристик). Каждый слой, в свою очередь, также может быть расслоен. Использование ФС–модели позволяет представить информационную технологию как совокупность информационных слоев и их отображений, тогда инструментальные средства информационной технологии включают средства описания информационных слоев и средства поддержки отображений из любого слоя в каждый. ФС–модель может быть определена тройкой $\{S, F, G\}$, где S – множество слоев, F – множество отображений, G – множество инвариантов.

В частности можно выполнить стратификацию информационной инфраструктуры S_I , выделив слои: модель метаданных информационной инфраструктуры (онтология) S_{IP} , метаданные S_{IM} (включающей слой описания программ S_{CM}) и данных S_{ID} (рисунок 2.4).

Отображение слоев $S_{IP} \rightarrow S_{IM}$ поддерживается центральным компонентом информационной инфраструктуры – Репозитарием, отображение $S_{CM} \rightarrow S_{CP}$ между

слоями описаний программ и программами осуществляется средствами разработки (например, CASE-средствами, системами программирования). $S_{IM} \rightarrow S_{ID}$ поддерживается с помощью универсальных компонентов доступа к данным, работа которых основана на метаданных информационных ресурсов, отображение $S_{ID} \rightarrow S_{IM}$ осуществляется CASE-средствами и программой администрирования.

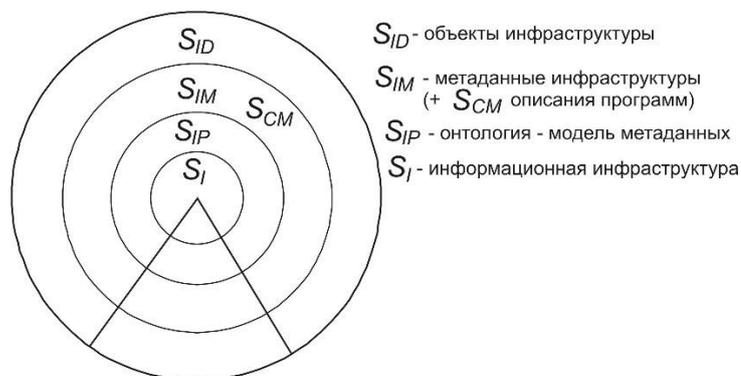


Рисунок 2.4. ФС – модель информационной инфраструктуры

Инвариантами (G) являются цели системных исследований в геофизической службе, которые детализируются для каждого слоя.

В слое S_{IP} представлена модель метаданных информационной инфраструктуры (онтология), определяющая какие именно метаданные информационной инфраструктуры должны отображаться в информационную инфраструктуру.

Предполагается, в частности, хранить описание программно-вычислительных комплексов с указанием атрибутов: название, дату модификации, модель программы в виде UML и т.д [60]. Для баз данных нужно также описать название, местоположение, СУБД, имя БД, модель данных в виде ER-диаграммы и т.д. Слой S_{IM} содержит непосредственные метаданные о конкретных программно-вычислительных комплексах, базах данных. В слое S_{ID} представлены сами объекты информационной инфраструктуры: файлы данных, модели, БД, исполняемые файлы программно-вычислительных комплексов. Таким образом, основным слоем является S_{IP} , в котором задается перечень объектов и атрибутов информационной инфраструктуры, которые необходимо обрабатывать. Именно моделью метаданных ограничиваются возможности информационной инфраструктуры. В общем случае модель метаданных представляет онтологию или концепт-карту, описывающую некоторые понятия, атрибуты и связи между ними [55]. Выполнив изменения этой модели, можно добиться изменения и поведения всей информационной инфраструктуры.

2.2.3 Модель данных Репозитария

Большинство связей объектов реального мира имеют размерность «многие ко многим», при отображении таких связей в реляционную модель существенно усложняется. В предлагаемой модели данных проводится отображение не консолидированных сущностей, а только их атрибутов и связей, то есть в реляционной модели данных все множество сущностей представляется в виде двух отношений: «сущности» и «атрибуты», а связи между сущностями реального мира представляются в виде отношения «связи», которое хранит информацию о наличии связи между кортежами отношения «сущности».

Поэтому было принято решение взять в качестве модели данных, лежащей в основе базы метаданных Репозитария, универсальную модель данных, предложенную А. Н. Копайгородским для информационной инфраструктуры исследований в энергетике [61]. Модель представлена в виде двухуровневой модели данных для реализации отображения объектов и классов реального мира и связей между ними [62, 63]. Под классом понимается множество объектов реального мира, обладающих одними свойствами, атрибутами, возможностями существования связей (например, научные сотрудники, публикации, базы данных, программные комплексы). Под экземпляром предлагаются отдельные объекты реального мира определенного класса.

Модель данных, лежащая в основе базы метаданных Репозитария (рисунок 2.5), состоит из 14 отношений: классы и их взаимодействия отражаются в отношениях «Классы», «Атрибуты», «Возможные_отношения». «Типы_отношений» содержит перечень всех возможных отношений, в которые могут вступать объекты, логическая обязательность отношения для класса определяется атрибутом «Сила_класса». «Экземпляры», «Значения_атрибутов» и «Отношения_экземпляров» содержат информацию о конкретных объектах и связаны с соответствующими отношениями классов, симметричность отношения – атрибутом «Обратимость_отношения».

Дополнительно в модели данных выделены отношения для информации о файлах («Файлы») информационной инфраструктуры, процедурах преобразования и выгрузки объектов («Процедуры_выгрузки»), описания механизмов доступа к СУБД («Драйверы_БД»). Для обеспечения безопасности и контроля прав доступа вводятся отношения «Уд_пользователи», «Права_пользователей», «Сессии_Уд_пользователей»,

содержащие информацию об именах и паролях удаленных пользователей, которые работают через драйвер Репозитория, их сессиях и правах доступа к классам и экземплярам. Отношение «Параметры_безопасности» используется для хранения параметров Репозитория и ключей шифрования для доступа к программному ядру.

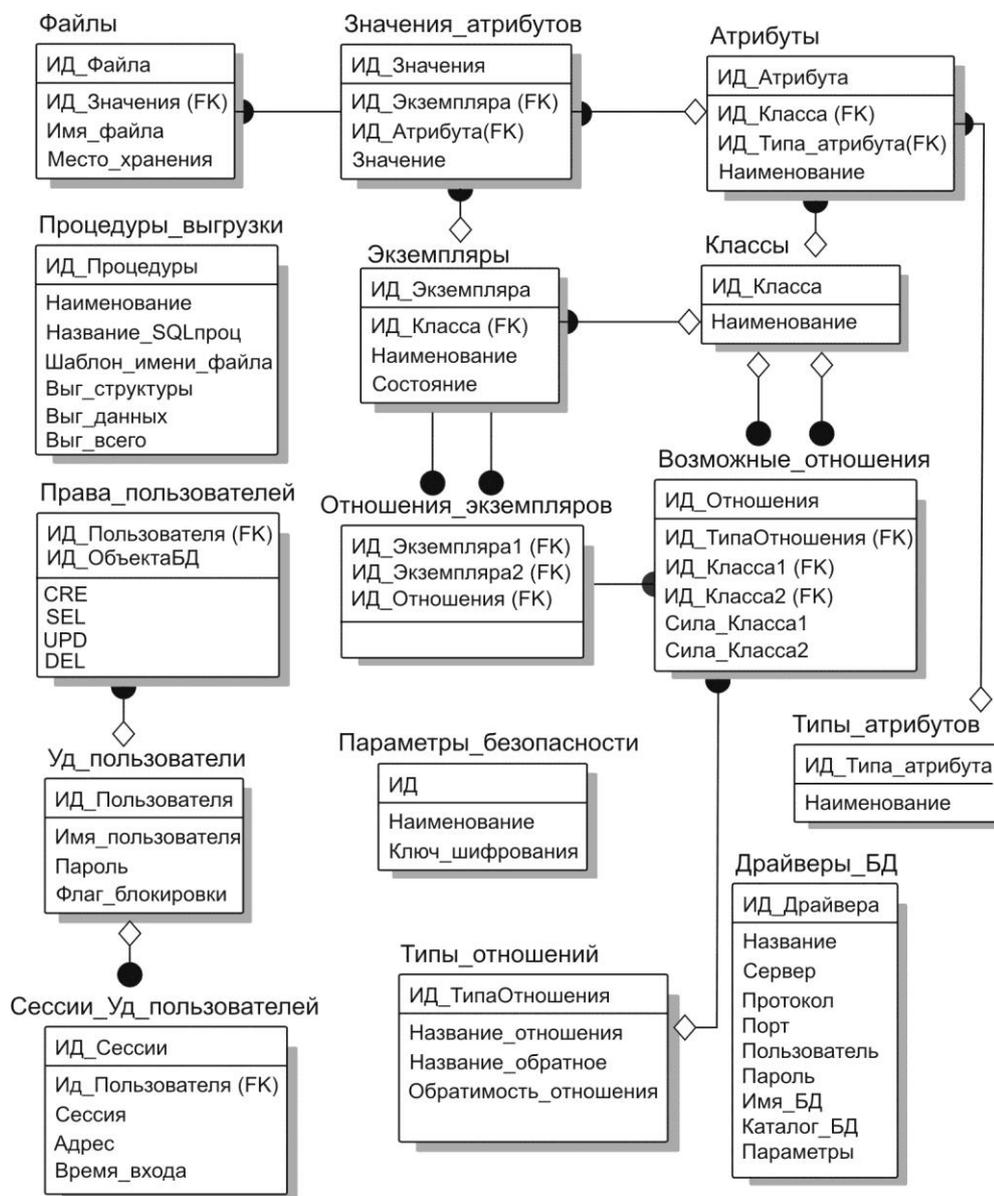


Рисунок 2.5. Модель данных Репозитория

2.2.4 Архитектура инструментальных средств

Основные компоненты информационной инфраструктуры и схема взаимодействия представлены на рисунке 2.6.

Компоненты информационной инфраструктуры можно разделить на три логических уровня: уровень файловой системы, СУБД и уровень клиента [64, 65]. Уровень файловой системы включает файлы базы метаданных, используемую СУБД и файлы, находящиеся в хранилище. На уровне СУБД функционирует само ядро Репозитория, организующее сетевой доступ к базе метаданных и обработку информации с помощью запросов, хранимых процедур, триггеров, и программное ядро Репозитория, которое обеспечивает управление сервером, а также организует доступ к хранилищу файлов. Уровень клиента представлен программой администрирования Репозитория, программой извлечения данных из СУБД, программой извлечения файлов из файлового хранилища Репозитория, драйвером Репозитория, способного подключаться к СУБД, и Web-сервисами, которые строят запросы к Репозиторию через драйвер.

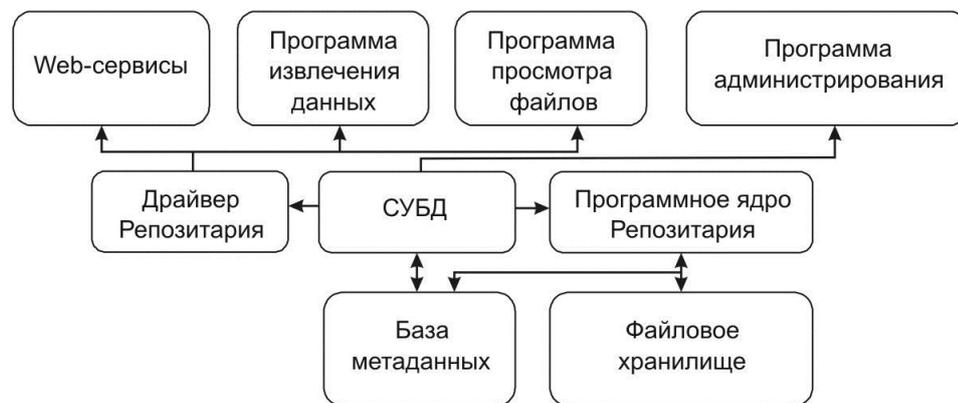


Рисунок 2.6. Архитектура инструментальных средств поддержки информационной инфраструктуры

При реализации информационной инфраструктуры выделяются системные и прикладные компоненты. Системные компоненты используются как самой информационной инфраструктурой, так и администраторами, и обеспечивают функционирование инфраструктуры. К системным компонентам относятся программное ядро Репозитория, база метаданных, файловое хранилище, программа администрирования, драйвер Репозитория (рисунок 2.6) [64–66].

Применение программного ядра Репозитория 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.

Для организации хранения архива данных, внешних документов (отчетов, статей) и документов, содержащих дополнительную неатрибутивную информацию ресурсов (модели данных и программ), необходимо реализовать специальное файловое хранилище, которое является составной частью Репозитария. Для организации доступа к документам, хранимым в Репозитарии, необходимо реализовать менеджер файлов, встроенный в программное ядро Репозитария. Менеджер выполняет процесс преобразования логического имени определенного файла, хранимого в Репозитарии, 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.

Драйвер Репозитария представляет собой механизм взаимодействия клиентских операционных систем и приложений, работающих с Репозитарием [65, 66]. Драйвер выполняет следующие функции: функции отключения и подключения к Репозитарию, поиск объектов, запрос информации по конкретным объектам и пр.

Программа администрирования необходима для выполнения административных задач, она позволяет производить первоначальное проектирование и изменения структуры хранения метаданных, вносить и модифицировать описания информационных объектов Репозитария, а также дает возможность извлекать все или часть данных из Репозитария в различные форматы [65, 66].

С помощью описанных системных программных компонентов информационной инфраструктуры реализуются прикладные компоненты, которые напрямую могут использоваться сотрудниками геофизической службы, как для извлечения метаданных, так и различных данных, описанных в информационной инфраструктуре.

2.2.5 Схема информационной инфраструктуры

Как уже было отмечено, Репозитарий представляет собой централизованное сетевое хранилище данных, содержащее, кроме метаданных, следующие

информационные источники: первичные материалы наблюдений и архив записей сильных землетрясений в виде файлов в специализированном формате «Байкал»; срочные донесения о сильных событиях, оперативный каталог землетрясений, основные параметры региональных землетрясений в виде таблиц базы данных; технические журналы обслуживания сейсмических станций, используемые методики, алгоритмы, программное обеспечение и научные публикации, отчеты организации в виде файлов-документов (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7. Схема информационной инфраструктуры Геофизической службы

Осуществление мониторинга сейсмической активности региона в режиме времени, близком к реальному, возможно при реализации информационно-аналитической системы (ИАС), выполняющей функции сбора, анализа и обработки первичных материалов наблюдений. Получение первичных материалов наблюдений сети станций и пополнение файлового хранилища сейсмических записей должно осуществляться автоматически через Internet-канал в режиме времени, близком к реальному (online режим). При анализе и обработке сейсмических данных используемое программное обеспечение должно иметь возможность соединения с файловым хранилищем сейсмических записей для загрузки необходимых данных и сохранения полученных результатов.

Для получения сотрудниками организации необходимой информации требуется реализация программы извлечения данных, в основе которой лежит система запросов, и программы просмотра файлов. Приложение должно давать возможность пользователю извлекать данные для своей работы из различных баз данных в удобном формате. Программа просмотра файлов Репозитария разрабатывается специально для доступа к

хранящимся в нем документам и работы с URL-ссылками на внешние информационные ресурсы. Методика построения информационной структуры также предполагает разработку Web-сервиса доступа к данным хранилища для внешних пользователей с целью организации более простого доступа к ресурсам хранилища (по согласованию с владельцем).

На рисунке 2.7 представлена схема предлагаемой информационной инфраструктуры Геофизической службы. Для реализаций представленного проекта информационной инфраструктуры необходимо решение следующих задач:

1. Создание единого информационного пространства для систематизированного хранения сейсмологических данных: цифровых записей, каталогов основных параметров землетрясений, бюллетеней станционных обработок событий, характеристик сейсмостанций, используемых алгоритмов и методов для анализа сейсмической информации, научных статей и публикаций.

2. Оснащение сейсмостанций коммутируемыми средствами связи для автоматической передачи непрерывных цифровых записей в режиме реального времени.

3. Организация автоматического сбора записей сейсмостанций БФ ГС СО РАН и дополнительных записей в центральном хранилище данных на сервере организации с функцией систематизации и проверки данных. Данные должны храниться в кольцевом буфере продолжительностью несколько месяцев, устаревшие данные должны записываться на сменные носители.

4. Организация ведения архива волновых форм сильных землетрясений в центральном хранилище данных (при выявлении сильных событий вырезание соответствующих волновых форм из записей и сохранение их в отдельной базе).

5. Обеспечение проведения анализа поступающих записей в автоматическом режиме на выявление землетрясений и обработку соответствующих событий для определения основных параметров.

6. Организация оперативного каталога путем ручного и автоматического определения основных параметров землетрясений в срочном режиме.

7. Разработка сервиса информирования заинтересованных организаций о сильных землетрясениях.

8. Ведение сетевой БД основных параметров землетрясений и станционных бюллетеней, получаемых в результате сводной обработки.

9. Реализация сохранения информации по сильным землетрясениям, поступающей от других сейсмологических агентств.

10. Обеспечение хранения информации об используемых методах, алгоритмах и программном обеспечении, применяемых для анализа сейсмических данных, используемых в сейсмологической аппаратуре и изменениях, связанных с ними.

11. Создание сервиса для хранения, пополнения и систематизации научных отчетов и статей БФ ГС.

12. Обеспечение логической связи между различными частями хранилища данных с возможностью осуществления различных запросов.

13. Организация разграничения и выделения доступа к данным в зависимости от выполняемых функций подразделением.

2.3 Выводы

Представленные результаты исследования деятельности Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН выявили недостатки существующего информационного обеспечения: устаревшие методы сбора, отсутствие систематизации информации, разрозненная система хранения сейсмологических и связанных с ними данных; наличие непроизводительных и дублирующих операций и соответствующей им информации; отсутствие комплексного информационно-аналитического обеспечения деятельности БФ ГС СО РАН.

Таким образом, существующая информационная инфраструктура не отвечает современным требованиям, и ее модернизация целесообразна. Выработаны требования и сформулированы задачи построения информационной инфраструктуры, предложена методика построения информационной инфраструктуры геофизической службы. В основе предлагаемой методики модернизации информационной инфраструктуры лежит создание единого информационного пространства – централизованного хранилища данных, обеспечивающего эффективное выполнение основных функций организации и согласования полученных результатов.

Глава 3

Технология сбора первичных материалов наблюдения

3.1 Обоснование и назначение технологии сбора

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 Прибайкалья и Забайкалья невозможно ввиду следующих причин:

1. Использование специфических регистраторов – цифровых сейсмических станций («Байкал-11»), не имеющих программного обеспечения для сбора и обработки сейсмических данных в автоматическом режиме.
2. В Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН используется формат представления данных *Baikal* (приложение 1) для хранения первичных материалов наблюдения – цифровых сейсмических записей. Существующие системы сбора первичных материалов наблюдений ориентированы на работу со стандартными форматами представления сейсмических данных (*Seed*, *MiniSeed*, *CSS 3.0*, *SAC* [26, 28–30]).
3. Чаще всего известное программное обеспечение имеет закрытый режим разработки или отсутствие документации, что затрудняет его модернизацию и адаптацию под определенные условия функционирования.
4. Уровень оснащённости сейсмических станций средствами связи *Internet* и качество связи не позволяют осуществлять передачу всех непрерывных цифровых записей.

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:

1. Слежение на сейсмической станции за появлением записей, содержащих волновые формы землетрясений.
2. Передача фрагмента записи, имеющего волновые формы землетрясения, с сейсмической станции на сервер центра сбора информации.
3. Регистрация полученных в ЦСИ цифровых записей.
4. 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. Необходимость передачи фрагментарных данных вызвана качеством Интернет-соединения на сейсмостанциях и экономической целесообразностью.

Как уже было представлено в первой главе, технология сбора должна удовлетворять перечню требований (*см. раздел 1.4.2*), 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.

Программный комплекс «Send_Agent & Receive_Agent» [67–70] предназначен для автоматической передачи волновых форм землетрясений с сети сейсмостанций в центр сбора информации в режиме реального времени.

Целью разработки программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent» является необходимость в своевременном получении в центре сбора исходных цифровых записей землетрясений, регистрируемых сейсмическими станциями, что позволяет проводить централизованную обработку всех зарегистрированных сейсмических записей в центре сбора.

3.2 Проектирование программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent»

Модуль «Send_Agent» выполняет процесс передачи фрагментов цифровых записей с сейсмической станции на сервер центра сбора информации (ЦСИ) [68, 69].

При декомпозиции данного процесса можно выделить процессы, отвечающие за функциональные требования, предъявляемые к подсистеме «Send_Agent». На рисунке 3.1 представлен результат декомпозиции процесса автоматической передачи сейсмических данных со станции на сервер ЦСИ.

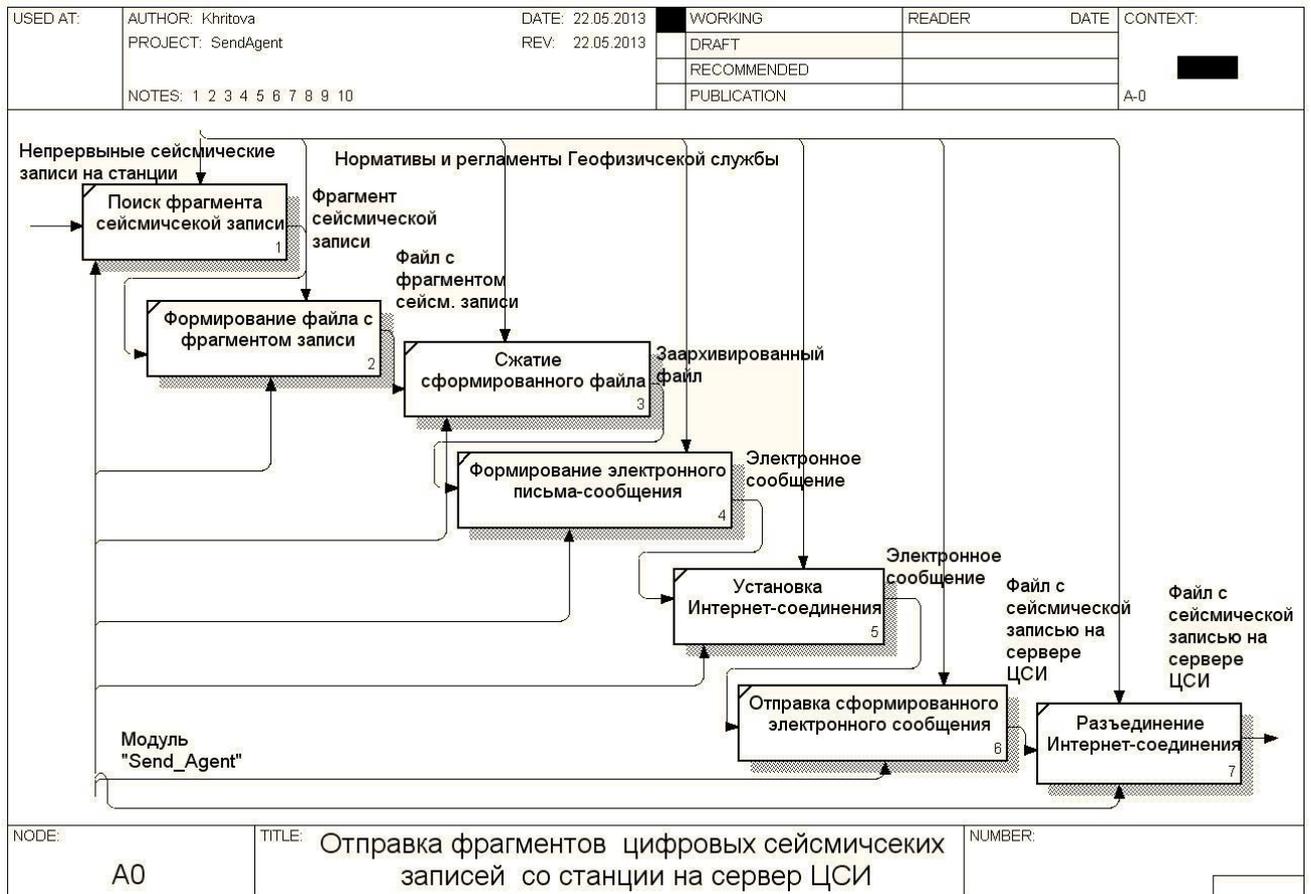


Рисунок 3.1. Декомпозиция процесса автоматической отправки файлов

Данный процесс выполняется под управлением модуля «Send_Agent» и включает выполнение следующих процессов: поиск зарегистрированного события среди набора сейсмических данных; формирование файла, содержащего необходимый фрагмент сейсмической записи; сжатие сформированного файла; формирование электронного

письма-сообщения; установка Интернет-соединения; отправка сформированного электронного сообщения по SMTP протоколу [71]; разъединение Интернет-соединения. Представленная на рисунке 3.1 диаграмма позволяет не только выделить основные процессы, выполняемые модулем «Send_Agent», но и отражает последовательность выполнения данных процессов.

Модуль «Receive_Agent» предназначен для автоматической регистрации фрагментов цифровых сейсмических записей в центре сбора информации [68, 69]. Аналогично можно выполнить декомпозицию основного процесса, выполняющегося под управлением модуля «Receive_Agent» (рисунок 3.2).

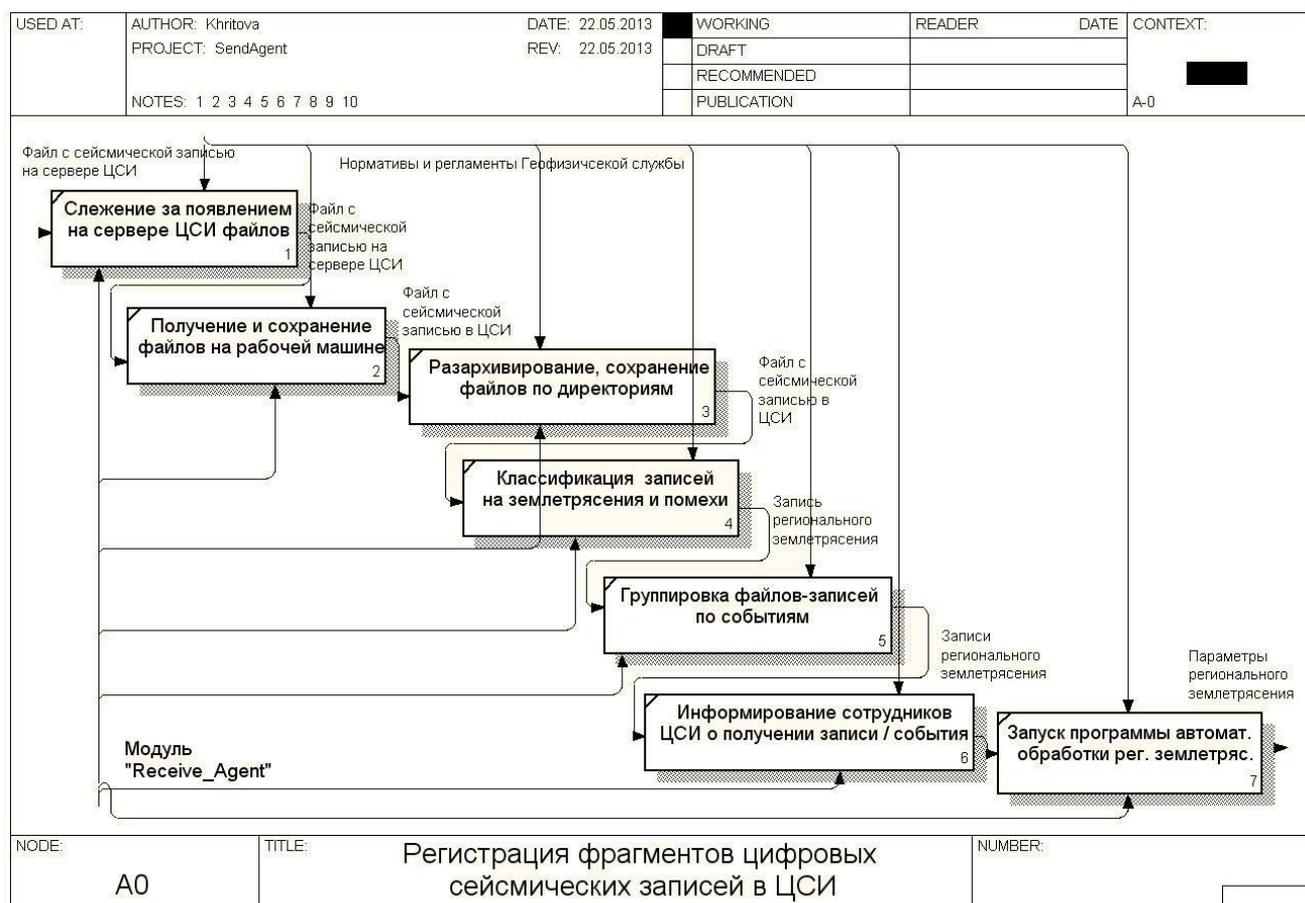


Рисунок 3.2. Декомпозиция процесса автоматической регистрации фрагментов цифровых сейсмических записей на машине ЦСИ

При моделировании выделены процессы: слежение за появлением на почтовом сервере файлов, отправленных с помощью «Send_Agent» с сейсмостанций (резидентное приложение); получение и сохранение их на рабочей машине в центре сбора информации; разархивирование и классификация полученных файлов, сохранение в определенных директориях для удобства проведения последующей обработки; классификация полученных записей событий на записи региональных землетрясений,

далеких землетрясений и помех; группировка файлов-записей с различных станций по событиям; информирование сотрудников центра сбора информации звуковым сигналом об обнаружении события; запуск программы автоматической обработки региональных землетрясений при получении более 3-х записей совпадающих по времени. Представленная диаграмма (рисунок 3.2) также позволяет отследить последовательность выполнения функций модуля «Receive_Agent».

Далее представлено более подробное описание основных функций и алгоритмическое обеспечение программной системы сбора первичных материалов наблюдения с сети станций в режиме времени близком к реальному.

Функции программы «Send_Agent»:

1. Постоянное слежение за появлением файлов, содержащих волновые формы события (резидентное приложение). Если при регистрации волновых форм происходит превышение заданного установленного критерия по амплитудам колебаний, то программа регистрации посылает команду для активизации модуля «Send_Agent». Помимо этого реализована периодическая проверка последних зарегистрированных сейсмических данных, на наличие в записи колебаний, имеющих превышение установленного критерия по амплитудам (проверка производится с периодичностью 60 секунд, соответствующий временной параметр можно задать в настройках программы).

2. Выбор волновых форм, превышающих заданный критерий по амплитудам колебаний. Из непрерывных цифровых записей происходит вырезание фрагмента записи волновых форм по указанным в настройках программы границам. Формируется новый файл, имеющий исходный формат представления сейсмических данных «Baikal» (приложение 1). Характерными признаками наличия записи сейсмических волн является наличие резкого скачка амплитуд. Для вырезания волновых форм из записи применен метод определения максимума по амплитуде колебания. От максимального значения амплитуды необходимо отступить влево по временной оси 80-60 секунд и вправо 50-60 секунд, данные интервалы гарантируют наличие в новых файлах вступления Р волны и попадание S волны у региональных землетрясений, эпицентр которых попадает в зону контроля БФ ГС СО РАН. При формировании нового файла необходимо провести корректировку по времени и внести изменения в заголовок файла. При проведении данной операции необходимо, чтобы формат файлов не изменялся для проведения последующей обработки данных. Функция вырезания записи позволяет передавать

только фрагменты записей, которые могут содержать записи сейсмических волн, и сократить объем передаваемых данных.

3. Сжатие сформированных файлов с помощью применения известных утилит архивирования (Rar). Функция сжатия файлов необходима для уменьшения объема передаваемых данных, соответственно и уменьшение времени передачи. Файлы содержат набор численных данных, поэтому применение стандартных методов сжатия позволяет уменьшить объем передаваемых данных практически в 2 раза.

4. Формирование электронного письма, содержащего пересылаемые файлы. Передача данных осуществляется с помощью почтового протокола SMTP по нескольким адресатам для дублирования данных [71–73]. Для этого в настройках программы заранее прописываются следующие данные: электронный адрес отправителя, пароль для почтовой учетной записи, имя исходящего сервера, электронные адреса получателей. При создании письма прописывается определенная тема («Earthquake record!») и прикрепляются сформированные файлы.

5. Подключение и разъединение удаленного Интернет - соединения. Большинство станций используют модемы типа Dial-up (удаленное соединение), поэтому в системе предусмотрена возможность автоматического подключения и разъединения Интернет – соединения в случае необходимости передачи сформированных файлов.

6. Отправка электронного письма при использовании протокола SMTP [71–73]. Под отправкой сформированного электронного сообщения подразумевается передача и сохранение его на почтовом сервере с указанными атрибутами.

7. Уведомление пользователя о производимых действиях: формируется реестр, в котором отражается информация о дате и времени осуществления отправки файлов, полные имена файлов. Реестр служит «памятью» системы, то есть по нему система ориентируется, какие файлы были уже отправлены и производит отправку последующих файлов, так как данные в файлах записываются последовательно во времени.

Функции программы «Receive_Agent»:

1. Постоянное слежение за появлением на сервере файлов – цифровых сейсмических записей (резидентное приложение). Периодическая проверка сервера (с интервалом 10–20 секунд, соответствующий параметр можно задать в настройках программы) на наличие писем, сформированных на сейсмостанциях системой

«Send_Agent» и имеющих известные атрибуты (тема письма, электронный адрес отправителя).

2. Получение с сервера и сохранение файлов, прикрепленных к найденным письмам, в памяти компьютера в центре сбора информации.

3. Разархивирование файлов, восстановление исходного формата данных. При разархивировании также используется утилита «Rar.exe». Классификация и перемещение файлов по директориям в зависимости от даты и станции, записавшей данные, для удобства проведения последующей обработки.

4. Группировка файлов-записей с различных станций по событиям. Программа проверяет наличие совпадения по времени предыдущих принятых файлов и текущего, при 3-х и более совпадениях выбранным записям устанавливается статус – события.

5. Проверка полученного файла на содержание записи регионального землетрясения. В программе «Receive_Agent» реализован алгоритм распознавания регионального землетрясения по форме записи. В основе алгоритма предложена методика анализа графика огибающей и аппроксимирующей его функции для выбранного участка сейсмограммы, имеющего характерное затухание значений амплитуд. Предложенный алгоритм позволяет идентифицировать записи региональных сейсмических событий, требующих обработки для определения основных параметров землетрясений, среди потока поступающих первичных материалов наблюдения (*подробнее алгоритм изложен в разделе 3.3*).

6. Информирование сотрудников центра сбора информации звуковым сигналом о регистрации нового файла и об обнаружении события. При поступлении одиночного файла звучит короткий тихий сигнал, когда происходит совпадение по времени при получении писем – файлов с нескольких сейсмостанций (3 сейсмостанции) звучит громкий продолжительный сигнал, который является необходимым сигналом для начала проведения обработки поступивших файлов.

7. Запуск программы автоматической обработки региональных землетрясений при получении более 3-х записей, совпадающих по времени, относящихся к одному событию и имеющих статус регионального землетрясения.

8. Сохранение информации о полученных файлах в файле – реестре, то есть запись таких параметров как дата и время отправки и получения файла, электронный адрес отправителя, имена прикрепленных файлов.

Помимо основных функций модуль «Receive_Agent» выполняет дополнительные функции:

1. Расчет объема полученных данных с каждой сейсмостанции по дням. Необходимо для отслеживания Интернет - трафика на каждой сейсмической станции.
2. Получение дополнительных сейсмических записей сейсмостанций соседнего Алтае-Саянского региона при мониторинге юга-западных землетрясений Прибайкалья.
3. Визуализация последнего определенного события – вывод на форме программы соответствующих полученных сейсмических записей.
4. Визуализация последней полученной сейсмической записи на форме программы «Receive_Agent».
5. Вывод результатов программы автоматической обработки на экране центра сбора информации.
6. Загрузка результатов программы автоматической обработки на сайт Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН – <http://seis-bykl.ru>.

3.3 Алгоритм распознавания сейсмограммы регионального землетрясения

При получении файлов – цифровых сейсмических записей программой «Receive_Agent» с нескольких сейсмостанций в автоматическом режиме производится выделение сейсмического события. Программа проверяет наличие совпадения по времени предыдущих принятых файлов и текущего, при 3-х и более совпадениях выбранным записям устанавливается статус – события. Но помимо передачи записей волновых форм региональных землетрясений происходит и передача с сейсмических станций записей искусственных помех или записей далеких землетрясений. Поэтому возникает вероятность выделения среди поступающих цифровых записей ложного события, также могут возникнуть случаи ложного срабатывания запуска программы автоматической обработки региональных землетрясений «AutoBykl» (см. главу 4) [74–77].

Поэтому поставлена задача распознавания сейсмограммы регионального землетрясения, классификации событий на региональные землетрясения, далекие землетрясения и помехи [78, 79].

Под региональными землетрясениями подразумевают сейсмические события, записанные на расстоянии до 1000 км от сейсмической станции [80]. Далёкие землетрясения – сейсмические события, произошедшие на расстоянии более 1000 км. Помехи – искусственные события, несвязанные с сейсмической активностью, чаще всего вызваны аппаратными сбоями, человеческой деятельностью или природными явлениями. На рисунке 3.3 представлен пример сейсмограммы регионального землетрясения, записанного сейсмостанцией «Тырган» (TRG) примерно на расстоянии 120 км.

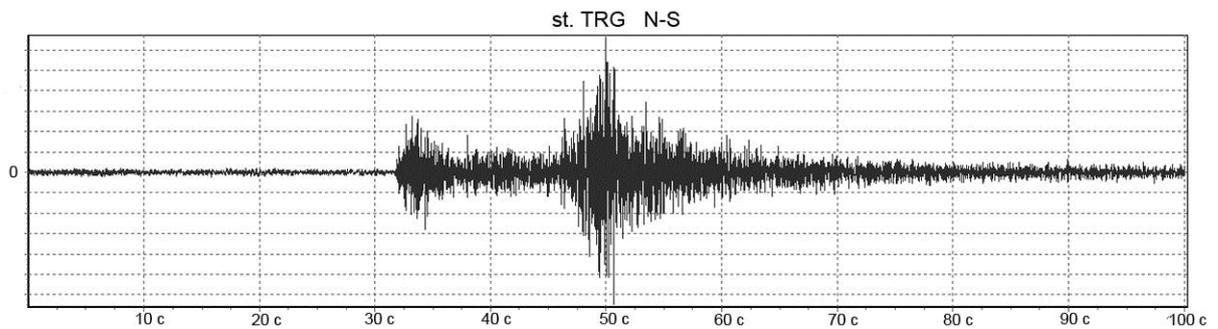


Рисунок 3.3. Пример записи регионального землетрясения

Запись далекого землетрясения, произошедшего в районе Филиппинских островов, зарегистрированного сейсмостанцией «Аршан» (ARS), показана на рисунке 3.4.

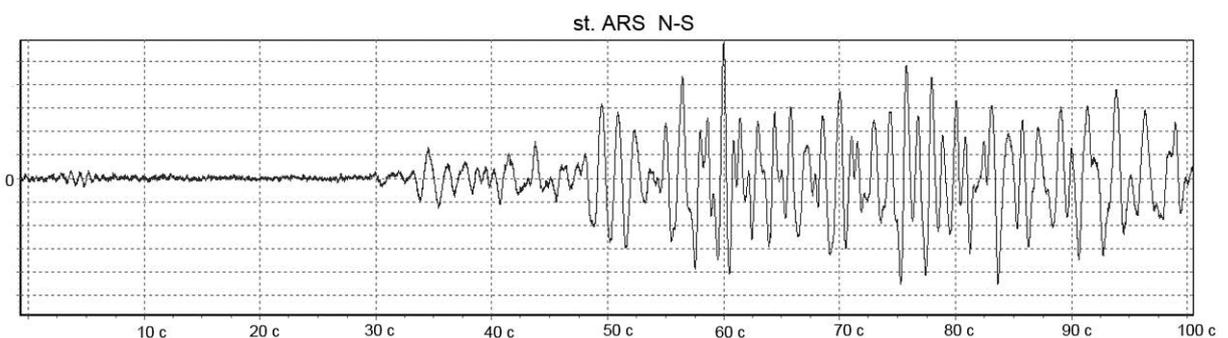


Рисунок 3.4. Пример записи далекого землетрясения

На рисунке 3.5 приведен пример записи искусственной помехи, зарегистрированной сейсмостанцией «Орлик» (ORL) .

Из рисунков 3.3–3.5 видны различия между записями. При близких землетрясениях с очагами в земной коре регистрируются продольные P_n , P_g и

поперечные S_n , S_g волны. Волны Pg и Sg (прямые волны) распространяются по прямой от очага к станции; Pn и Sn – волны, преломленные на подошве земной коры [81, 82].

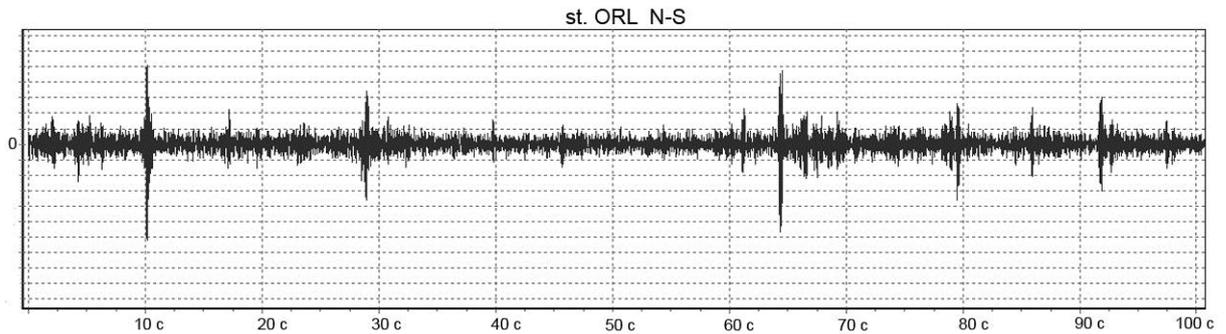


Рисунок 3.5. Пример записи искусственной помехи

При эпицентральных расстояниях, меньших 180 км, на сейсмограммах сейсмических станций Прибайкалья в продольных волнах наблюдается вступление Pg , в поперечных – Sg [80]. Интервал между этими вступлениями не превосходит 20 секунд. При больших эпицентральных расстояниях первыми вступают более слабые волны Pn (перед Pg) и Sn (перед Sg). Сейсмограммы региональных землетрясений содержат преимущественно прямые сейсмические волны (Pg и Sg). Период для таких записей примерно равен 0.1–0.2 секунды. Для записей далеких землетрясений характерен период 1–2 секунды. Записи помех не содержат регулярного признака, по которому можно было бы их выделить.

Далее рассмотрен предложенный автором метод классификации зарегистрированных событий на региональные землетрясения (EQ), далекие события (D) и помехи (N).

Алгоритм распознавания сейсмограмм региональных землетрясений. Обобщенная блок-схема алгоритма может быть представлена пятью блоками (рисунок 3.6):

1. Блок предварительной подготовки данных. Для станционной записи по выбранной компоненте (например, $N-S$) производится процедура нормализации. Нормализованное значение A_k для k -го отсчета вычисляется по формуле

$$A_k = A_k^- - \frac{\sum_{i=1}^n A_i^-}{n}, \quad (1)$$

где A_k^- – значение амплитуды k -го отсчета, A_i^- – исходная амплитуда i -отсчета сейсмической записи, n – количество отсчетов содержащихся в файле для соответствующей компоненты.

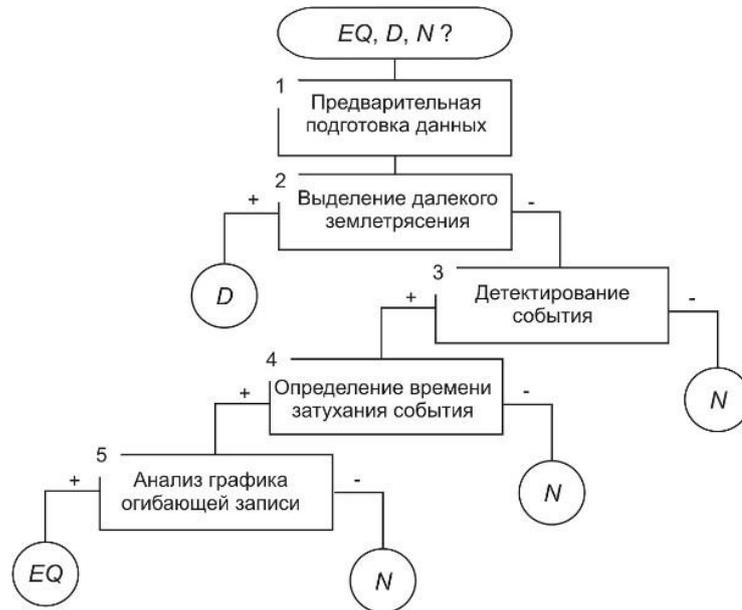


Рисунок 3.6. Схема алгоритма классификации сейсмограмм на региональные землетрясения (EQ), далекие землетрясения (D) и помехи (N)

2. Блок выделения далекого землетрясения. По записи находится время и значение максимальной амплитуды ($t_{A_{\max}}, A_{\max}$). Измеряется значение среднего периода в пределах от $t_{A_{\max}} - 2$ до $t_{A_{\max}} + 8$ секунд, в этих же пределах находится значение максимального периода. Аналогичная процедура производится и для конца записи (интервал $t_n - 10$ секунд). Эмпирически установлено, что при далеком событии максимальные периоды больше 2 секунд, средние периоды превосходят 0.7 секунды. Количество периодов, укладывающихся в интервале 10 секунд, меньше 20. Если количество признаков, удовлетворяющих этим условиям, превышает 3–4, то такая запись содержит далекое событие. Соответственно, после этого блока записи может быть выставлен статус далекого землетрясения (D) или регионального землетрясения и помехи (EQ/N).

3. Блок детектирования события. Для выделения вступлений прямых сейсмических волн Pg и Sg по цифровой сейсмограмме применена методика детектирования сейсмических событий, основанная на анализе отношения амплитуд в коротком и длинном временных окнах (STA/LTA – Short Time Average to Long Time Average), которым моделируется отношение сигнал-шум (SNR – signal-to-noise ratio).

Вопросы применения критерия STA/LTA для детектирования сейсмических событий подробно рассмотрены в работах [33, 34, 83–85].

Если A_i – отсчеты сейсмической записи, N_{STA} и N_{LTA} – количество отсчетов коротко- и длиннопериодного усреднения, то критерий STA/LTA для k -го отсчета выражается соотношениями

$$STA_k = \frac{1}{N_{STA}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{STA}} |A_{k+i}|, \quad (2)$$

$$LTA_k = \frac{1}{N_{LTA}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{LTA}} |A_{k-i}|, \quad (3)$$

$$SNR_k = \frac{STA_k}{LTA_k}. \quad (4)$$

Для рассматриваемой системы выбрано $N_{STA}=10$ (0.1 с) и $N_{LTA}=300$ (3 с). В случае превышения порогового значения STA/LTA (от 5 до 3, в зависимости от зашумленности записей) событие считается обнаруженным. Превышение коэффициента SNR позволяет предполагать обнаружение вступления волн Pg и Sg (рисунок 3.7). Каждое срабатывание детектора (превышение коэффициента SNR) по выбранной компоненте записи запоминается и регистрируется в списке.

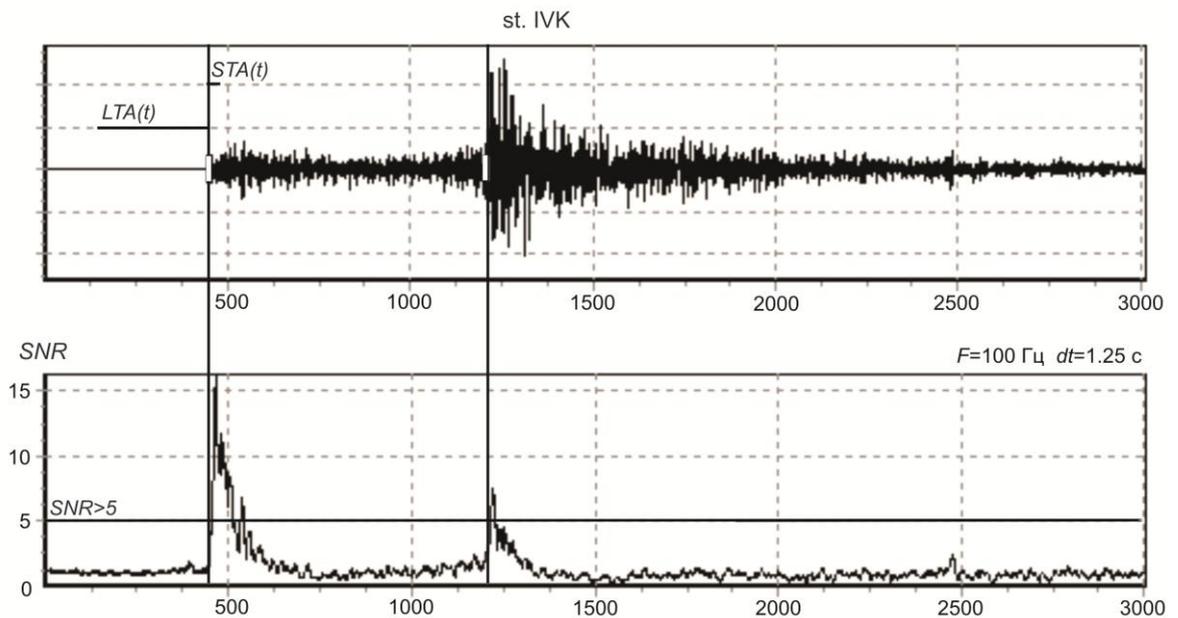


Рисунок 3.7. Схема детектирования сейсмического сигнала

Анализируется список срабатывания детектора, полученные фазы объединяются в одну; если они достаточно близки по времени (0.1–0.5 с), то вместо них генерируется усредненная фаза:

$$t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i (STA/LTA)_i}{n} \right). \quad (5)$$

Первые моменты предполагаются как фазы продольной волны Pg , соответственно следующие моменты рассматриваются как время вступления поперечной волны Sg . Отмечены случаи, когда происходят ложные срабатывания детектора на помехи, поэтому выполняются следующие шаги алгоритма.

4. Блок определения времени затухания события. Рассматривается фрагмент записи от второго срабатывания детектора, которое подразумевает наличие вступления прямой поперечной волны Sg , или от времени, которое соответствует максимальному значению амплитуды. Для данного участка записи регионального землетрясения характерно затухание, постепенное уменьшение значений амплитуд (рисунок 3.8). Время уменьшения значений амплитуд от A_{\max} до значения $0.1 \times A_{\max}$ должно лежать в пределах от 2–100 секунд. В противном случае запись признается помехой (N), и дальнейший анализ не производится.

5. Блок анализа графика огибающей записи. Производится анализ графика огибающей для определенного выше (см. блок 4) участка записи. Строится график огибающей выбранного участка записи для положительных значений амплитуд в выбранном окне усреднения (0.1–0.2 секунды) (рисунок 3.8).

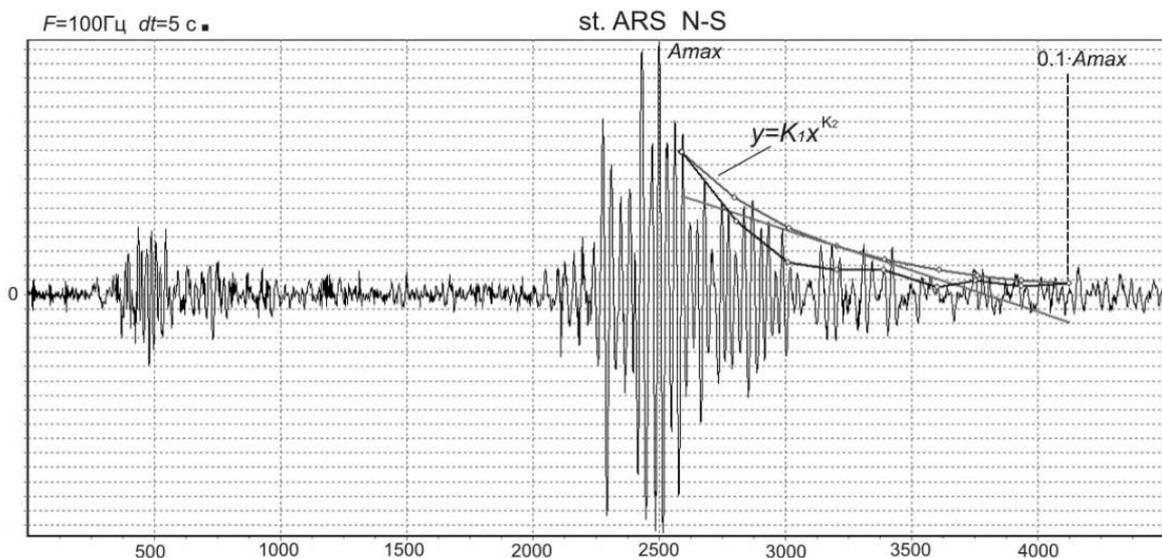


Рисунок 3.8. Схема анализа графика огибающей записи

Запоминаются значения усредненных амплитуд и соответствующее время. Нормируются полученные значения амплитуд (y_i), значения времен (x_i) относительно максимальной амплитуды и максимального времени соответственно. График

оггибающей хорошо аппроксимируется степенной функцией, на которую накладываются определенные ограничения: $1/K_1 > 0$, $K_2 < 0$, где $y = K_1 x^{K_2}$ – степенная функция. По полученным нормированным значениям рассчитываются коэффициенты K_1 и K_2 : $K_1 = y$, при $x = 1$; $K_2 = \log_x(1/K_1)$, где x – соответствует $y = 1$. Если условия $1/K_1 > 0$, $K_2 < 0$ выполняются, то сейсмограмма может содержать сейсмические волны.

По известным коэффициентам (K_1 и K_2) и полученным значениям x строится «правильная» степенная функция (рисунок 3.8). Рассчитывается отклонение значений реальных амплитуд, найденных по записи, от значений амплитуд, полученных с помощью выведенной степенной функции. Если среднее отклонение превышает установленный порог, то данная запись признается помехой (N).

Следующим шагом строится касательная к идеальной степенной функции и измеряется угол наклона к оси X , показывающий степень затухания амплитуд для поперечной сейсмической волны Sg (рисунок 3.8). Угол касательной степенной функции к оси X , определенный по сейсмограмме регионального землетрясения должен лежать в ограниченных пределах. При выполнении данного условия считается, что анализируемая сейсмограмма содержит запись регионального землетрясения (EQ), в противном случае для записи выставляется статус – помеха (N).

Обобщенная схема рассмотренного алгоритма приведена на рисунке 3.6.

Представленный алгоритм позволяет идентифицировать записи региональных землетрясений. На основании описанного алгоритма разработан программный модуль, который включен в систему сбора первичных материалов наблюдений с сети сейсмических станций («Receive_Agent»). Внедрение модуля распознавания записей региональных землетрясений позволило сократить количество ложных определений региональных землетрясений и количество ложных запусков программы автоматической обработки землетрясений «AutoBykl».

Предложенная методика идентификации региональных землетрясений может использоваться не только для анализа фрагментов записей, поступающих в режиме реального времени (или в режиме времени, близком к реальному), но также имеются перспективы применения алгоритма и для анализа непрерывных сейсмических записей с целью выделения региональных землетрясений из большого массива данных, что существенно ускорит процесс обработки землетрясений.

3.4 Реализация программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent»

Программный комплекс реализован в среде разработки Lazarus (версия 1.0.6), Free Pascal (версия FPC 2.6.0). Выбранный инструментарий содержит множество стандартных компонентов и функций, необходимых при разработке приложения [86–87]. Помимо этого Lazarus предоставляет возможность интеграции с различными внешними библиотеками. Имеются встроенные компоненты для работы с протоколами передачи данных, функции (при добавлении соответствующих библиотек) для работы с удаленным соединением при подключении к Интернет (Ras API) [88–90].

Программа «Send_Agent» разработана в виде стандартного проекта Lazarus, состоящего из файла самого проекта и модулей. На рисунке 3.9 представлена схема иерархии модулей программы «Send_Agent».

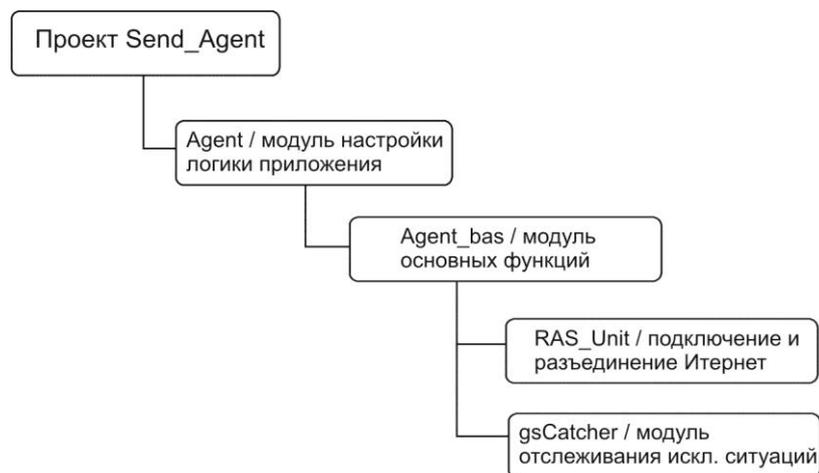


Рисунок 3.9. Схема иерархии модулей программы «Send_Agent»

Модуль Agent описывает главное окно приложения, в котором осуществляется управление логикой функционирования приложения, настройка программы.

Основной модуль Agent_bas приложения содержит процедуры и функции поиска, обработки, архивирования файлов, формирование электронного письма, подключение удаленного соединения, отправка письма по протоколу SMTP, так же реализованы методы, позволяющие пользователю контролировать процесс функционирования приложения.

Модуль RAS_Unit отвечает за поиск возможных Интернет – соединений, подключение и разъединение удаленного Интернет – соединения при использовании модемов [88–90]. С помощью модуля gsCatcher происходит обработка исключительных ситуаций – ошибок, время происхождения и код ошибки сохраняются в файле log.txt [91]. Полученная информация использовалась при тестировании программы для отладки.

При запуске программы «Send_Agent» выводится форма, в которой указываются параметры (рисунок 3.10): имя сейсмической станции, где будет функционировать данное приложение; адрес электронной почты, с которого будет производиться отправка файлов; пароль к указанной почтовой учетной записи; сервер исходящих сообщений; адреса получателей, в данном поле можно ввести несколько электронных адресов, что обеспечивает резервирование получения сейсмических данных.

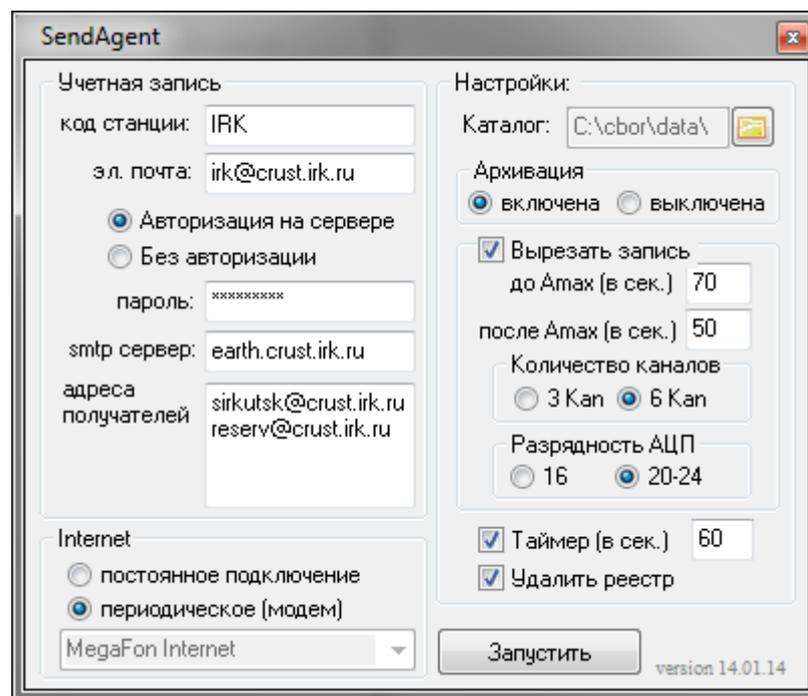


Рисунок 3.10. Окно настройки приложения «Send_Agent»

Пользователю предоставляется выбор типа подключения: постоянное подключение к Internet или периодическое подключение, используя модем. При периодическом соединении необходимо произвести выбор имени подключения из списка существующих удаленных подключений на данном компьютере. Так же предоставляется выбор – производить предварительную архивацию найденных и сформированных файлов или производить отправку файлов без сжатия.

Опция «Вырезать запись» необходима для вырезания волновой формы землетрясения из исходных файлов, то есть формирование нового файла, содержащего запись землетрясения, из исходных файлов. При включении данной опции необходимо указать границы записи, то есть начало записи и конец относительно максимальной амплитуды волны.

В настройках программы указываются количество каналов сейсмической записи и разрядность АЦП, используемые при регистрации. Данные параметры зависят от особенностей используемого оборудования.

Поле «Таймер» – время, через которое система проверяет наличие исходных файлов, содержащих записи волновых форм, превышающих заданный критерий по амплитудам колебаний.

При включении опции «Очистить реестр» происходит удаление всех записей в файле – реестре перед запуском модуля поиска файлов, то есть система «не помнит» о последнем отправленном файле, и производит поиск всех файлов – событий за текущие сутки.

Приложение «Send_Agent» имеет минимальный пользовательский интерфейс, так как программа работает в автоматическом режиме и не требует постоянного участия оператора, за исключением случаев, связанных с настройкой программы при запуске. Но для отслеживания процесса передачи сейсмических данных реализовано графическое окно, позволяющее контролировать функционирование программы (рисунок 3.11 а, б).

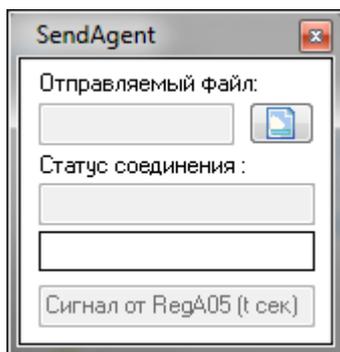


Рисунок 3.11 а. Рабочее окно приложения «Send_Agent» при отсутствии записей, подлежащих передаче

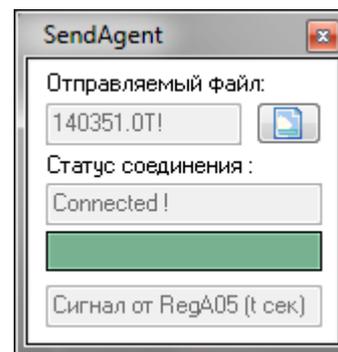


Рисунок 3.11 б. Рабочее окно приложения «Send_Agent» при успешной передаче файлов

Система начинает производить поиск записи только спустя указанный в настройках временной интервал. По истечении указанного времени происходит изменение внешнего вида рабочего окна в зависимости от результатов работы приложения: система не нашла записей, имеющих превышение критерия по амплитудам колебаний (рисунок 3.11 а) или система нашла соответствующую запись и успешно произвела отправку сформированного файла на сервер центра сбора информации (рисунок 3.11 б).

Если при функционировании программы произошла ошибка, то внешний вид рабочего окна изменяется – зеленая полоса сменяется красной. Ошибка может быть вызвана невозможностью подключения Интернет – соединения или невозможностью соединения с сервером. В таком случае программа повторит передачу неотправленных файлов в следующий раз при срабатывании таймера.

Данная программа постоянно размещена в оперативной памяти компьютера (предусмотрена возможность размещения приложения в автозагрузке), и подразумевает минимальное вмешательство в работу пользователя.

Программа «Receive_Agent» также разработана в виде стандартного проекта Lazarus, состоящего из файла самого проекта и модулей. На рисунке 3.12 представлена схема иерархии модулей программы «Receive_Agent».

В файле проекта Receive_Agent происходит инициализация всех используемых форм и запуск программы.

Основной модуль GetAgent приложения содержит процедуры и функции: проверка сервера на наличие файлов-записей, получение и сохранение файлов в файловой системе компьютера, разархивация файлов, уведомление сотрудников звуковым сигналом о получении файлов и пр. Помимо этого в модуле реализованы методы, отвечающие за изменение интерфейса приложения по результатам функционирования (визуализация последнего принятого события).

Модуль Graf отвечает за визуализацию последнего принятого фрагмента сейсмической записи. Благодаря реализации этого модуля пользователь может на экране видеть последнюю принятую сейсмограмму.

Для описания настроек приложения «Receive_Agent» разработан модуль Option, содержащий процедуры, позволяющие производить настройку программы, от которой зависит логика функционирования программы.

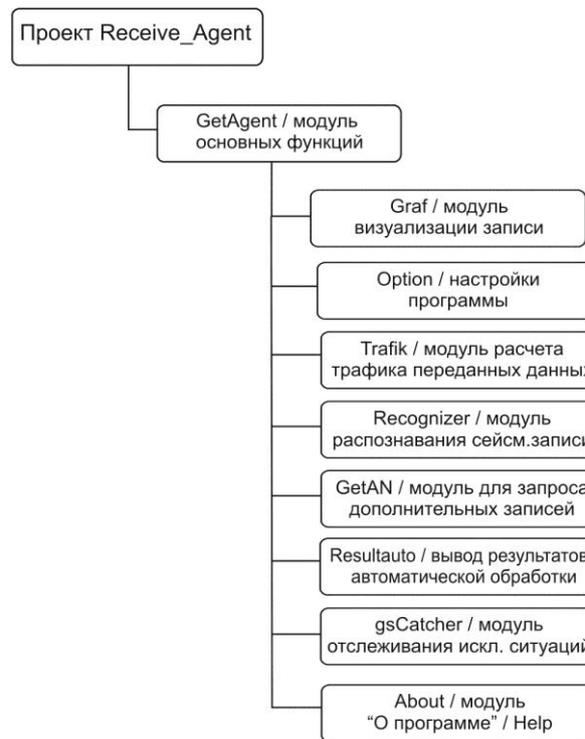


Рисунок 3.12. Схема иерархии модулей программы «Receive_Agent»

Модуль Trafik содержит функции и процедуры расчета и вывода информации об объеме полученных данных с каждой сейсмостанции по дням.

Проверка полученного файла на содержание записи регионального землетрясения реализована в модуле Recognizer, то есть в этом модуле описан алгоритм распознавания регионального землетрясения по форме записи (см. раздел 3.3).

Модуль GetAn отвечает за получение дополнительных сейсмических записей сейсмостанций соседнего Алтае-Саянского региона при мониторинге юга-западных землетрясений Прибайкалья.

В модуле ResultAuto содержится процедурно-функциональное описание вывода результатов программы автоматической обработки на экране центра сбора информации. Также этот модуль отвечает за загрузку результатов программы автоматической обработки на сайт Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН.

С помощью модуля gsCatcher происходит обработка исключительных ситуаций – ошибок, время происхождения и код ошибки сохраняются в файле log.txt [91]. Полученная информация использовалась при тестировании программы для отладки.

На рисунке 3.13 представлен пример функционирования приложения «Receive_Agent» при получении сейсмических записей сети станций на примере землетрясения 24 апреля 2013 г. с энергетическим классом $K_p=9.1$ [92].

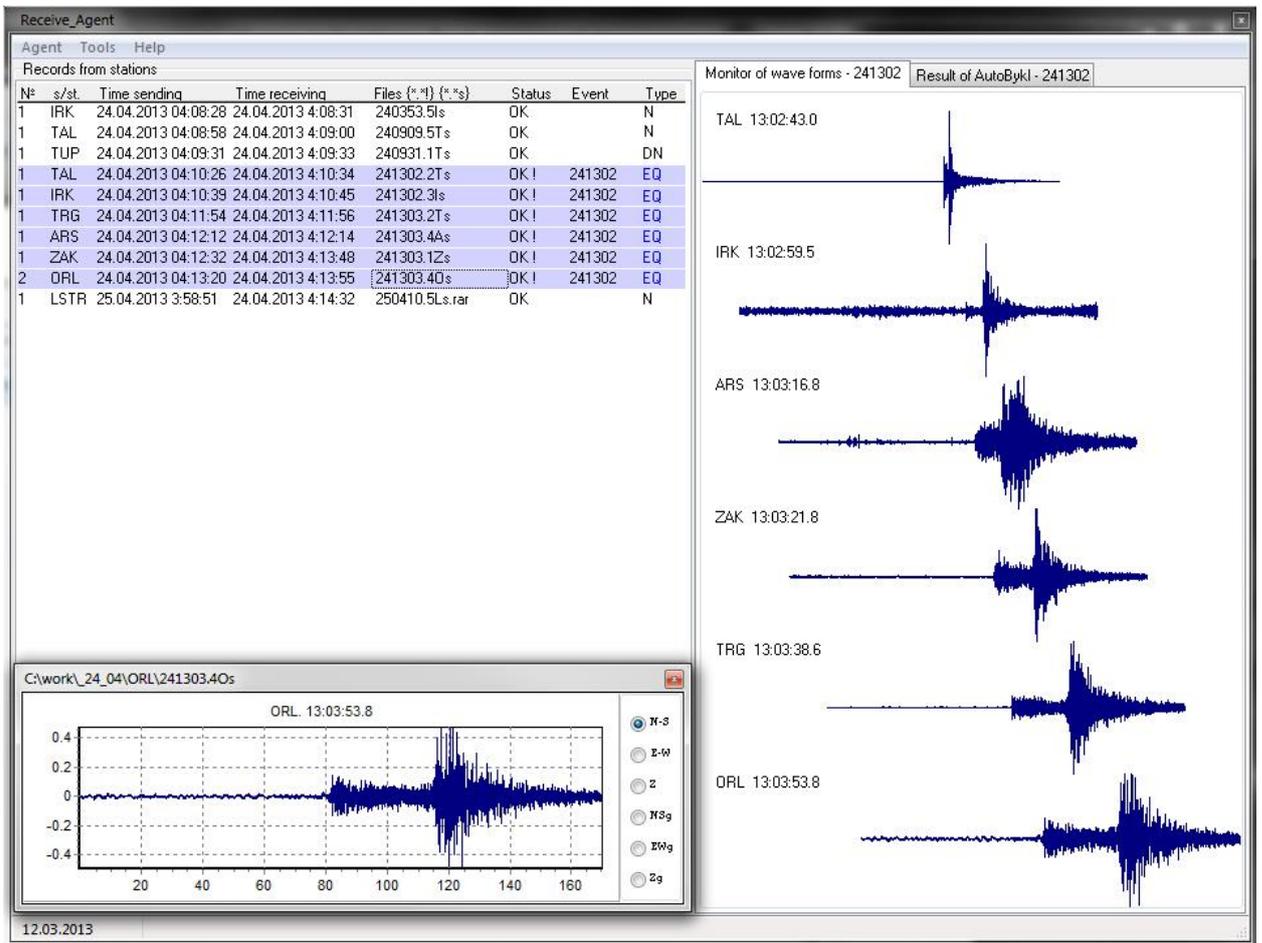


Рисунок 3.13. Пример функционирования приложения «Receive_Agent» при получении сейсмических записей сети станций на примере землетрясения 24 апреля 2013 г.

Справа на рисунке 3.13 показана таблица, содержащая информацию о принятых файлах. Для каждого файла – записи указываются: код сейсмической станции, с которой была передана запись; время отправки со станции и время принятия записи в центре сбора; имя принятого файла; статус, характеризующий корректность полученных данных; идентификатор события, если записи соответствуют одному времени, то соответствующим записям выставляется одинаковый идентификатор события; тип записи – для каждой записи могут быть определены статусы: региональное землетрясение (EQ), далекое землетрясение (D), помеха (N).

Строки таблицы, содержащие информацию о полученных сейсмических записях одного события, помечаются цветом. Внизу главного окна приложения «Receive_Agent» выводится сейсмограмма одного канала последней полученной записи (рисунок 3.13). Слева в окне программы (рисунок 3.13) визуализируются волновые формы, полученные от сейсмостанции и относящиеся к последнему событию – землетрясению.

С 2010 года программный комплекс «Send_Agent & Receive_Agent» используется для автоматической передачи фрагментов записей волновых форм землетрясений средствами Интернет с сети станций в ЦСИ в режиме времени, близком к реальному. На всех станциях БФ ГС СО РАН функционирует программа «Send_Agent», в центре сбора информации (сейсмическая станция Иркутск) – приложение «Receive_Agent» (приложение 4). Эмпирически установлено, что при событии с энергетическим классом $K_p \geq 10$ в течение 2–5 мин с момента землетрясения в ЦСИ оказываются записи не менее, чем с восьми сейсмостанций.

3.5 Выводы

В третьей главе рассмотрена предлагаемая автором технология сбора первичных материалов наблюдения – фрагментов сейсмических записей в режиме времени, близком к реальному. Отличительными особенностями предложенной технологии являются:

1. Процессы передачи, сбора и анализа сейсмических данных осуществляются в режиме реального времени или в режиме, близком к реальному времени.
2. Технология сбора реализована в виде программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent», работающего в автоматическом режиме, состоящего из подсистемы, осуществляющей отправку фрагментов первичных материалов наблюдений с сейсмостанции, и модуля регистрации и анализа поступающих цифровых записей в центре сбора информации.
3. Модуль передачи первичных материалов наблюдений «Send_Agent» адаптируется под функционирование определенной сейсмической станции (возможность настройки программы под условия использования на станции).
4. Сбор, обработка, хранение цифровых записей производится в формате файла *Vaikal*, используемом в БФ ГС СО РАН при регистрации сейсмическими станциями.
5. Из-за невозможности передачи всего объема непрерывных цифровых сейсмических записей реализована передача только фрагментов записей волновых форм землетрясений.

6. Разработан и реализован алгоритм распознавания сейсмограммы регионального землетрясения среди поступающего массива сейсмических записей в Центре сбора информации.
7. Производится обнаружение регионального землетрясения по набору цифровых сейсмических записей и запуск программы автоматической обработки региональных землетрясений для определения основных параметров события.
8. Реализовано автоматическое подключение и разъединение соединения при использовании удаленного доступа к Интернет.
9. Производится визуализация поступающих в центре сбора сейсмических записей.
10. Реализованы возможности хранения данных на дублирующем сервере и резервное получение сейсмических данных.

Представлены функциональные модели и подробно рассмотрены основные функции подсистемы «Send_Agent», осуществляющей отправку первичных материалов наблюдений с сейсмостанции, и подсистемы «Receive_Agent», регистрации и анализа поступающих цифровых записей в центре сбора информации.

Подробно рассмотрен предложенный автором алгоритм распознавания записей региональных сейсмических событий, требующих обработки для определения основных параметров землетрясений, среди потока поступающих первичных материалов наблюдения. Предложенная методика идентификации региональных землетрясений используется не только для анализа фрагментов записей, поступающих в режиме реального времени (или в режиме времени, близком к реальному), но также имеются перспективы применения алгоритма и для анализа непрерывных сейсмических записей с целью выделения региональных землетрясений из большого массива данных, что существенно ускорит процесс обработки землетрясений.

Описывается реализация модулей программного комплекса «Send_Agent & Receive_Agent». Приведены результаты использования разработанной технологии сбора первичных материалов наблюдений в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН.

Глава 4

Метод автоматической обработки региональных землетрясений

4.1 Постановка задачи

При регистрации программой «Receive_Agent» сейсмических записей регионального землетрясения необходима автоматическая обработка поступивших файлов с целью определения основных параметров произошедшего землетрясения [68–70].

Программа автоматической обработки землетрясений должна выполнять следующие функции:

1. Определение основных параметров землетрясения.
2. Предоставление полученных результатов на каждом этапе функционирования программы в визуальной форме: построение карты с эпицентром землетрясения, вывод протокола обработки землетрясения.

Постановка задачи. Цель оперативной автоматической обработки – определение основных параметров регистрируемого землетрясения:

- местоположения эпицентра, географических координат (широты φ_0 и долготы λ_0);
- времени возникновения t_0 ;
- величины энергетического класса K_p и магнитуды M .

Исходными данными для определения параметров произошедшего землетрясения является набор фрагментов трехкомпонентных записей волновых форм (скорости колебаний горизонтальных маятников N-S, E-W и вертикального маятника Z) или

шестикомпонентных (скорости – N-S, E-W, Z и соответствующие ускорения – NSg, EWg, Zg), зарегистрированных сейсмическими станциями Прибайкалья в файлах формата «Baikal».

Каждый файл-запись формата «Baikal» состоит из структуры «Main-header», структур «Channel-header» по количеству содержащихся каналов в файле и самих данных (приложение 1).

Структура «Main-header» занимает 120 байт и содержит информацию: количество каналов, номер версии программы регистрации, дата регистрации (день, месяц, год), количество видимых спутников, количество секунд без синхронизации, признак синхронизации со спутниками, разрядность используемого АЦП при регистрации, код сейсмической станции, частота дискретизации данных в секундах, время первой точки в секундах от начала текущих суток и географические координаты сейсмической станции (широта, долгота).

Структура «Channel-header» для каждого канала имеет объем 72 байта и состоит из полей: физический номер канала, имя канала, тип используемого датчика, коэффициент канала (количество микрон на дискрету), частота калибровки канала.

После структур последовательно записаны данные, размер одного отсчета зависит от разрядности АЦП (2 или 4 байта). Длина станционных записей поступающих в режиме реального времени составляет примерно от 50 до 170 секунд.

4.2 Метод автоматической обработки цифровых сейсмограмм для определения основных параметров землетрясений

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 [30, 81, 82]. При эпицентральных расстояниях, меньших 180 км, на сейсмограммах сейсмических станций Прибайкалья в продольных волнах

наблюдается вступление Pg , в поперечных – Sg [83, 93]. Интервал между этими вступлениями не превосходит 20 с. При больших эпицентральных расстояниях первыми вступают более слабые волны Pn (перед Pg) и Sn (перед Sg). Очень важно в этих случаях правильно интерпретировать фазы Pn и Pg , Sn и Sg . Например, если первое вступление Pn принять за Pg , то расстояние получается завышенным и t_0 определяется с ошибкой.

Первоочередной задачей в процессе обработки сейсмических сигналов является обнаружение самого сигнала – определение моментов вступления прямых сейсмических волн Pg и Sg [94–98]. 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 (Pg и Sg) [80].

Действующая схема расположения сейсмостанций и оснащённость их средствами связи с Интернет позволяют охватить большую часть Байкальской рифтовой зоны, где возможна автоматическая локация эпицентров землетрясений (рисунок 4.1).

Рассматриваются региональные сейсмические события с расстояниями до сейсмостанций менее 180 км, так как на таких расстояниях записи содержат только прямые Pg и Sg волны. Действующая схема расположения сейсмостанций и оснащённость их средствами связи с Интернет позволяют выделить две области в БРЗ, где возможна автоматическая локация эпицентров землетрясений: первая охватывает участок от станции Орлик (ORL) до Закаменска (ZAK) и Тыргана (TRG), вторая – от Нижнеангарска (NIZ) до Бодайбо (BOD) и Нелят (NLYR) (рисунок 4.1).

В основе алгоритма автоматической обработки цифровых трехкомпонентных сейсмограмм применена методика детектирования сейсмических событий, основанная на анализе отношения амплитуд в коротком и длинном временных окнах (STA/LTA – Short Time Average to Long Time Average), которым моделируется отношение сигнал-шум (SNR – signal-to-noise ratio) [34, 84, 99].

Существует большое количество методик детектирования сейсмических событий, одной из первых методик автоматического детектирования является теоретическая работа Фрейбергера [33], использующая фильтр Неймана-Пирсона и усреднение сигнала с целью получения лучшего отношения сигнал-шум. Первым практическим применением подхода Фрейбергера являются детекторы, основанные на анализе отношения амплитуд в коротком и длинном временных окнах (STA/LTA - Short Time

Average to Long Time Average), которым моделируется отношение сигнал-шум. Улучшением этой методики является Z-детектор [97]. Еще одной методикой детектирования, использующей отношение STA/LTA, является детектор, основанный на преобразовании Уолша [85].

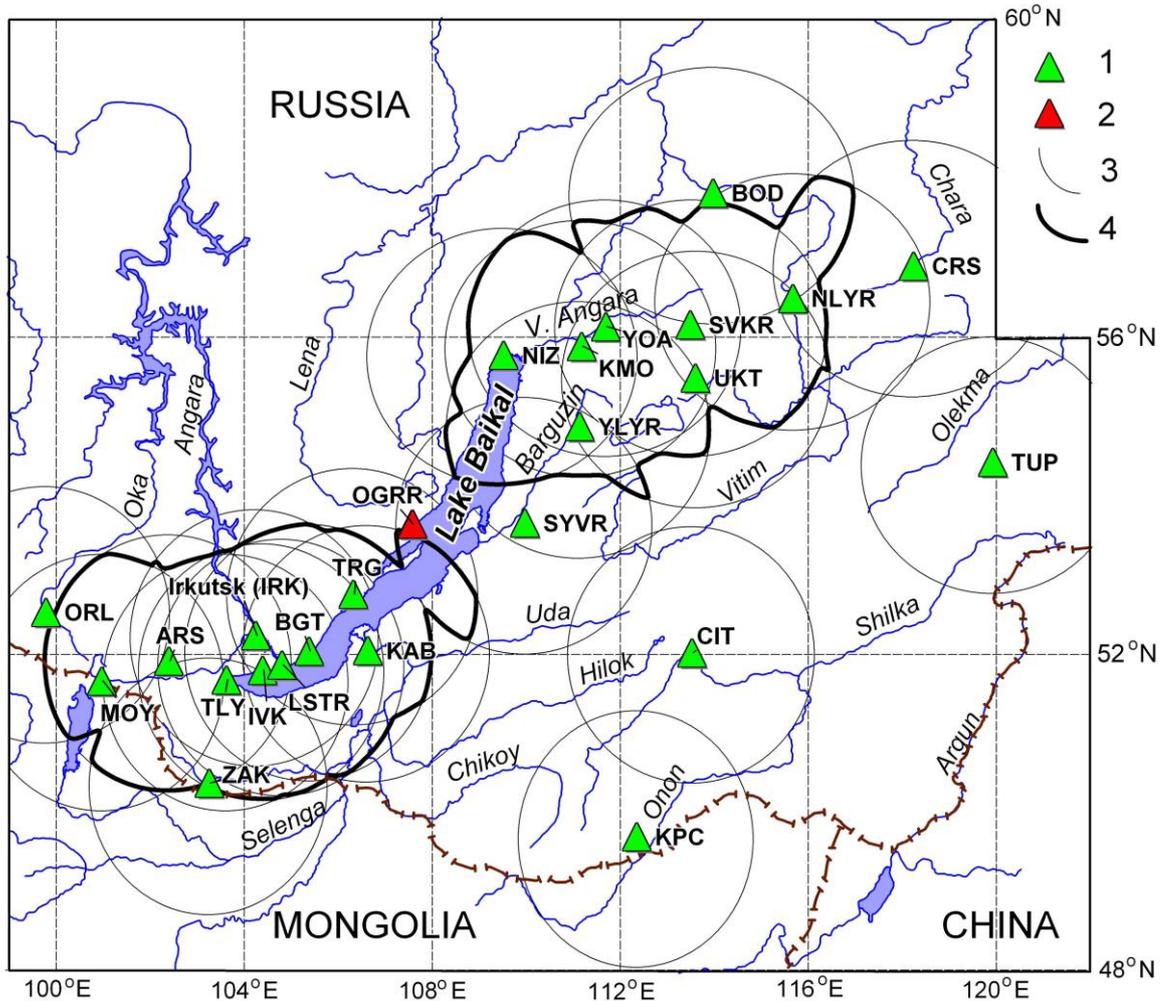


Рисунок 4.1. Схема расположения сейсмостанций

1, 2 – сейсмостанции Байкальского филиала ГС СО РАН, имеющие выход в Интернет (1) и неимеющие выхода в Интернет (2); 3 – окружности радиусом 180 км вокруг сейсмических станций; 4 – контур, ограничивающий зоны, в пределах которых располагается не менее трех сейсмических станций с выходом в Интернет

Проведенный анализ и тестирование различных методик автоматического детектирования показало целесообразность использования простого детектора STA/LTA для выявления времен вступления сейсмических волн P_g , S_g по записям региональных (близких) землетрясений короткопериодных сейсмических станций (рисунок 4.2).

Если f_i – отсчеты сейсмической записи, N_{STA} и N_{LTA} – количество отсчетов коротко- и длиннопериодного усреднения, то критерий STA/LTA для k -го отсчета выражается соотношениями

$$STA_k = \frac{1}{N_{STA}} \sum_{i=1}^{N_{STA}} |f_{k+i}|; \quad (1)$$

$$LTA_k = \frac{1}{N_{LTA}} \sum_{i=1}^{N_{LTA}} |f_{k-i}|; \quad (2)$$

$$SNR_k = \frac{STA_k}{LTA_k}. \quad (3)$$

Для рассматриваемой системы выбрано $N_{STA}=10$ (0.1 с) и $N_{LTA}=300$ (3 с).

В случае превышения порогового значения STA/LTA (от 5 до 3, в зависимости от зашумленности записей) событие считается обнаруженным. Превышение коэффициента SNR позволяет предполагать обнаружение вступления волн Pg и Sg (рисунок 4.2).

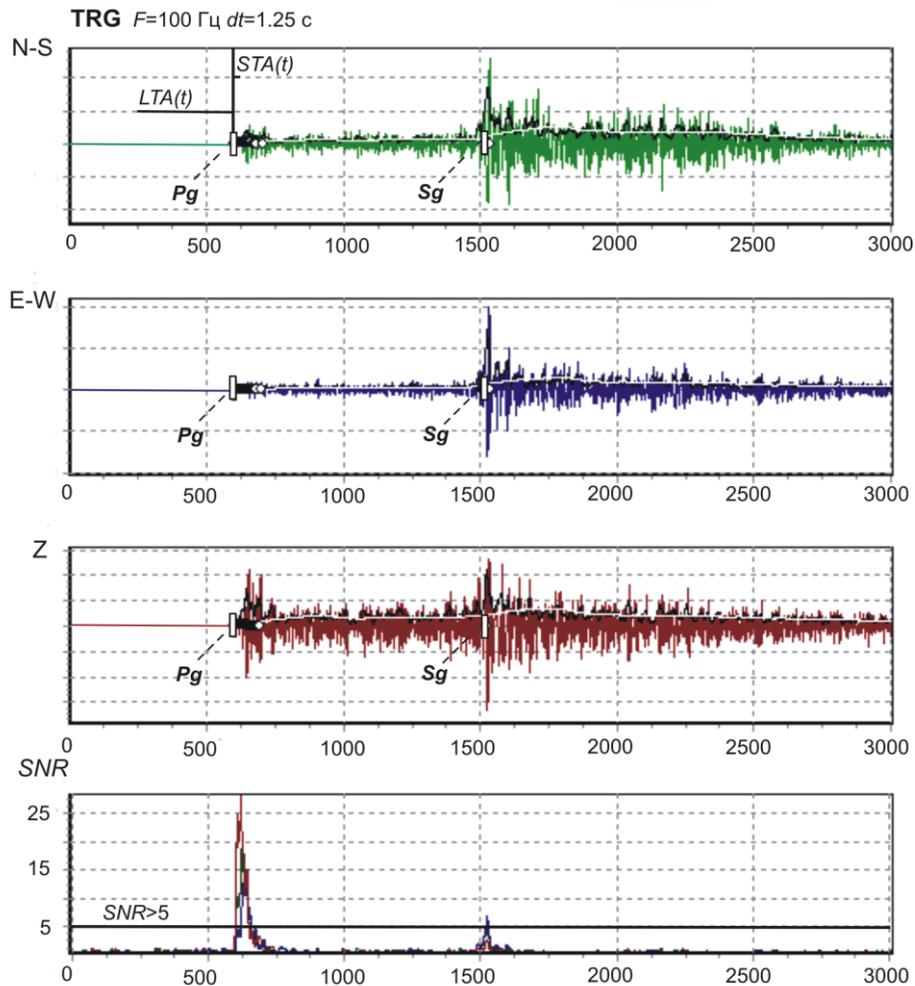


Рисунок 4.2. Схема детектирования сейсмического сигнала по трехкомпонентной записи сейсмической станции «Тырган» (TRG) с коэффициентом $SNR=5$

Отмечены случаи, когда происходят события слабые по критерию STA/LTA , но на взгляд интерпретатора совершенно «осмысленные». Поэтому детектирование проводится в несколько этапов: пороговое значение STA/LTA изменяется от 5 до 3 с шагом 0.5; процесс детектирования прекращается при обнаружении события по записям трех станций (в частных случаях по записям двух станций) или в случае, когда пороговое значение детектора принимает минимальное возможное значение.

Определение основных параметров землетрясений проводится по программе «Региональная зона» (авторы С. И. Голенецкий, Г. И. Перевалова), минимизирующей сумму квадратов невязок моментов вступлений сейсмических волн [44].

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.

В наиболее общем случае при решении задачи о гипоцентре минимизируется сумма $\sum \left(\left(t_{Sg_i} - t_0 - \frac{\sqrt{d_i^2 + h^2}}{v_{Sg}} \right) + \left(t_{Pg_i} - t_0 - \frac{\sqrt{d_i^2 + h^2}}{v_{Pg}} \right) + \left(t_{P_i} - t_0 (2H - h) \sqrt{\frac{1}{v_{cp}^2} - \frac{1}{v_{Pg}^2} - \frac{d_i}{v_{Pg}}} \right)^2 \right)$, где t_{Sg_i} , t_{Pg_i} , t_{P_i} – моменты вступления соответствующих волн на i -станцию; H – средняя мощность земной коры, полагаемая равной 40 км; h – глубина очага; $v_{Pg}=6.15$ км/с; $v_{Sg}=3.58$ км/с; $v_{cp}=6.4$ км/с (средняя скорость распространения P -волн в земной коре по данным ГСЗ); d_i – эпицентральное расстояние i -станции в км. 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 [100].

Для расчета энергетического класса в программе заложена номограмма Т.Г. Раутиан [47]. Зная максимальные амплитуды в волнах и эпицентральное расстояние, по номограмме определяется энергетический класс землетрясения K_p .

4.3 Алгоритм автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья

На первом этапе алгоритма происходит предварительная подготовка цифровых записей.

1. Производится проверка для 6-ти канальных записей на «зарезание» значений у чувствительных каналов (в случае сильных землетрясений). Если значения чувствительных каналов (N-S, E-W, Z) превосходят установленный критерий, то дальнейшая обработка производится по грубым каналам (NSg, EWg, Zg).

2. Для каждой станционной записи по всем компонентам производится процедура нормализации. Нормализованное значение f_k для k -го отсчета вычисляется по формуле

$$f_k = f_k^- - \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n}, \quad (1)$$

где f_k^- – значение k -го отсчета, f_i – отсчеты сейсмической записи, n – количество отсчетов содержащихся в файле для соответствующей компоненты.

Во второй части алгоритма программы заложено решение прямой задачи: определение географических координат эпицентра (широты φ_0 и долготы λ_0), время возникновения t_0 по определенным с помощью детектирования фазам Pg и Sg.

3. По выбранным компонентам N-S, E-W, Z или NSg, EWg, Zg производится детектирование записи. Если f_i – отсчеты сейсмической записи, N_{STA} и N_{LTA} – количество отсчетов коротко- и длиннопериодного усреднения, то критерий STA/LTA для k -го отсчета выражается соотношениями

$$STA_k = \frac{1}{N_{STA}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{STA}} |f_{k+i}|, \quad (2)$$

$$LTA_k = \frac{1}{N_{LTA}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{LTA}} |f_{k-i}|, \quad (3)$$

$$SNR_k = \frac{STA_k}{LTA_k}. \quad (4)$$

По каждой записи формируются списки срабатывания детектора для каждой компоненты – запоминаются временные точки, соответствующие превышениям отношений сигнал-шум (SNR) порогового значения (первоначально пороговое значение берется равным 5).

4. Анализируются списки срабатываний детектора, полученные фазы объединяются в одну; если они достаточно близки по времени (0.1–0.5 с), то вместо них генерируется усредненная фаза:

$$t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i (STA/LTA)_i}{n} \right). \quad (5)$$

Если t определяется по двум и более компонентам в интервале 0.1–0.5 с, то значение t усредняется и интерпретируется как момент вступления прямой волны Pg или Sg (первые моменты предполагаются как фазы Pg , соответственно следующие моменты рассматриваются как время вступления волны Sg).

Если фазы Pg и Sg определены меньше, чем по 3-м записям, то процесс детектирования производится заново с уменьшением порогового значения – повторяется пункт 3 (STA/LTA изменяется от 5 до 3 с шагом 0.5).

5. Для проверки истинности найденных фаз по каждой определенной паре моментов вступления волн t_{Pg} , t_{Sg} , зная средние скорости соответствующих волн для рассматриваемого региона $v_{Pg}=6.15$ км/с, $v_{Sg}=3.58$ км/с и скорость фиктивной волны $v_{\phi}=8.57$ км/с, рассчитывается время в очаге:

$$t_0 = \left(\left(t_{Pg} - v_{\phi} \cdot \frac{t_{Sg} - t_{Pg}}{v_{Pg}} \right) + \left(t_{Sg} - v_{\phi} \cdot \frac{t_{Sg} - t_{Pg}}{v_{Sg}} \right) \right) / 2. \quad (6)$$

По записям разных станций выбираются t_0 , близкие между собой по времени (1–2 с), соответствующие фазы t_{Pg} , t_{Sg} группируются по событиям. В дальнейшей обработке рассматриваются события, имеющие как минимум 2 или 3 пары фаз t_{Pg} , t_{Sg} .

В случае, когда ни одно событие не определено – недостаточно количества фаз, пороговое значение детектора уменьшается (минимальное пороговое значение равно 3), программа переходит к пункту 3.

6. При наличии одной группы фаз, и, если время возникновения события совпало только по записям двух сейсмостанций, происходит дополнительный анализ списков срабатываний детектора, определенных по данным ближайших станции (на расстоянии 100–150 км от станции, по записи которой найдено самое раннее t_{Pg}). Если уровень SNR_k

значительно превышает установленный критерий (в 30–15 раз), то соответствующее время t_k интерпретируется как время вступления фазы P_g и добавляется к определенным по другим записям фазам.

7. Если имеется несколько групп фаз, то в обработке рассматривается группа с наибольшим количеством фаз.

В случае наличия нескольких групп с одинаковым количеством фаз, и в каждой группе моменты вступления волн P_g, S_g определены по записям трех и более сейсмостанций, рассчитывается начальное приближение для основных параметров землетрясения: время в очаге – t_0 , координаты эпицентра – φ_0 , λ_0 . Определение основных параметров землетрясений проводится с помощью подпрограммы «Региональная зона».

На следующем шаге алгоритма проверяется превышение невязок времен пробега сейсмических волн заданного порога; при наличии неудовлетворительных невязок соответствующие фазы исключаются из обработки, и происходит перерасчет параметров землетрясения.

8. После того как получены первые параметры (t_0 , φ_0 , λ_0) для каждой группы фаз, производится проверка на истинное событие. Истинным событием считается группа, имеющая минимальное расстояние от эпицентра до сейсмостанции, по записи которой были определены моменты вступления волн P_g, S_g.

Если в каждой группе эпицентральные расстояния превосходят установленное ограничение в 300 км, то все события считаются ложными, пороговое значение детектора уменьшается (минимальное пороговое значение равно 3), программа переходит к пункту 3.

В последней части алгоритма после того, как получены первые параметры (t_0 , φ_0 , λ_0), решается обратная задача с целью уточнения параметров очага землетрясения.

9. По найденным первичным координатам происходит поиск ближайших станций, неучаствовавших в обработке. Рассчитываются времена прихода волн P_g для ближайших станций (на расстоянии 100–150 км от предполагаемого очага землетрясения):

$$t_{Pg} = t_0 + \frac{d}{v_{Pg}}, \quad (7)$$

где d – расстояние от сейсмостанции до эпицентра землетрясения, $v_{Pg}=6.15$ км/с средняя скорость волны Pg для Прибайкалья. Из списков срабатываний детектора, определенных по записям ближайших станций, выбираются времена t_k , близкие к рассчитанным, при условии $|t_k - t_{Pg}| < 1$ с, и предполагаются как времена вступлений фаз Pg. Найденные фазы Pg добавляются к входным данным для расчетного модуля, и переопределяются основные параметры землетрясения. После этого этапа также производится проверка на приемлемость полученных невязок времен пробега сейсмических волн.

10. Затем аналогично анализируются списки срабатываний детектора по оставшимся записям сейсмостанций на наличие фаз Pg, Sg с учетом полученных параметров землетрясения. Рассчитываются моменты вступления волн Pg, Sg на сейсмостанции по формулам (7) и

$$t_{Sg} = t_0 + \frac{d}{v_{Sg}}, \quad (8)$$

где $v_{Sg}=3.58$ км/с средняя скорость волны Sg для рассматриваемого региона. Ближайшие к полученным моментам, времена из списков срабатывания детектора предполагаются как соответствующие фазы и также добавляются в обработку. Производится перерасчет основных параметров землетрясения: времени в очаге, координат эпицентра. При наличии больших невязок времен пробега сейсмических волн соответствующие фазы исключаются из обработки, и производится перерасчет параметров землетрясения.

11. Для определения величин K_p и M необходимо определение максимальных амплитуд A_{Pg} и A_{Sg} в волнах Pg, Sg. Чтобы измерить амплитуды максимальных смещений, предварительно производится численное интегрирование скоростей смещения почвы – записей чувствительных каналов (N-S, E-W, Z) и двойное интегрирование ускорений грунта – записей грубых каналов (NSg, EWg, Zg) [101].

Для расчета энергетического класса в программе заложена номограмма Т. Г. Раутиан [47]. Зная максимальные амплитуды в волнах и эпицентральное расстояние, по номограмме определяется энергетический класс землетрясения K_p .

Полученные амплитуды соответствующих волн добавляются к входным данным для расчетного модуля, затем рассчитываются параметры землетрясения: время в очаге – t_0 , координаты эпицентра – φ_0, λ_0 , энергетический класс – K_p .

Магнитуда определяется по формуле

$$MSH = \sum_{k=1}^N (1.321g d_k + \lg A_{Sgk}), \quad (9)$$

где N – число станций, по которым определены вступления волн Sg ; d_k – расстояние от эпицентра до k -станции; A_{Sgk} – максимальная амплитуда, определенная в волне Sg по записи k -станции.

Рассмотренный алгоритм [74, 76] представлен в виде блок-схемы на рисунке 4.3.

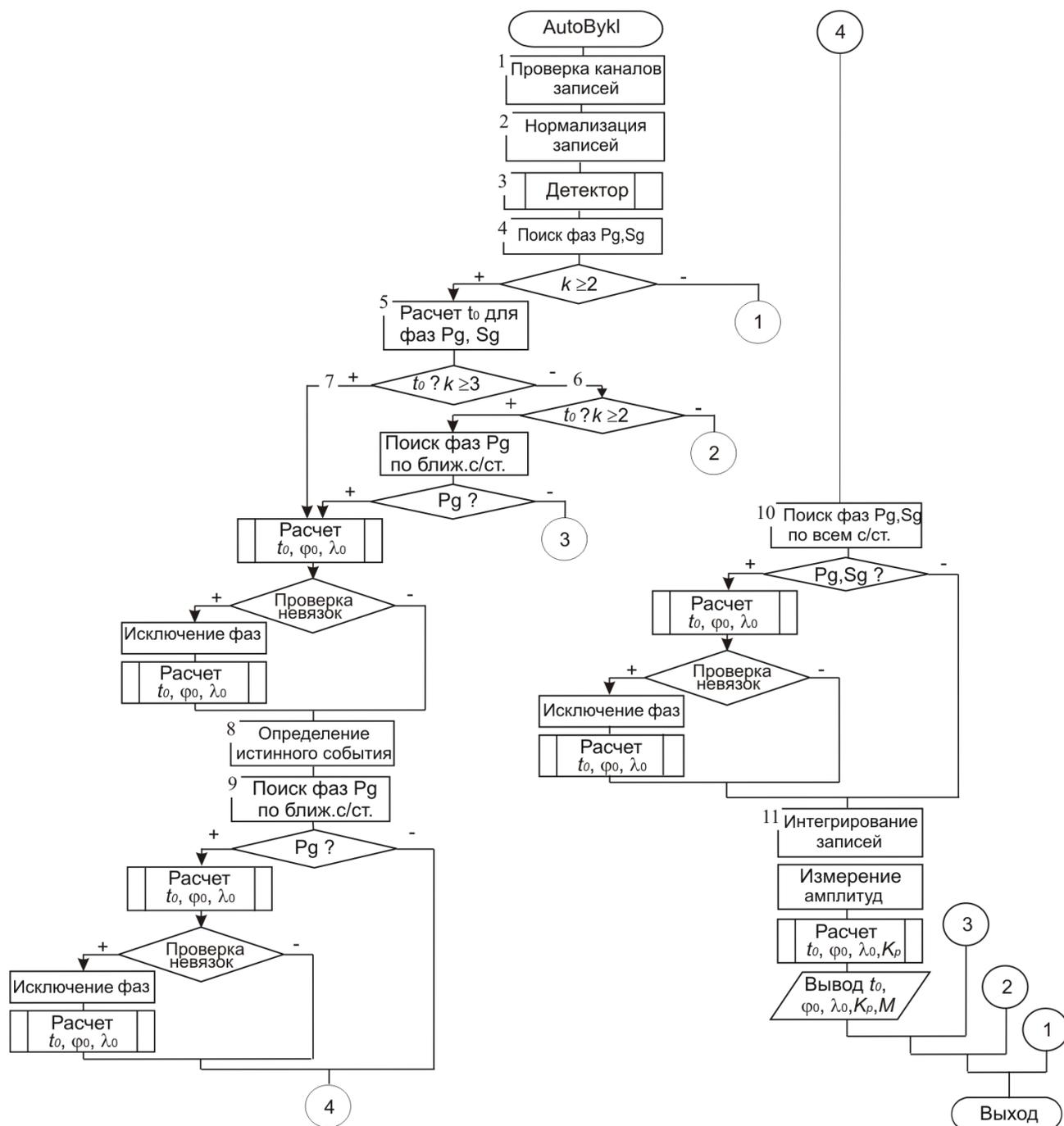


Рисунок 4.3. Блок-схема алгоритма автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья. 1–11 – см. пояснения в тексте

4.4 Реализация программы «AutoBykl»

На основании представленного выше алгоритма разработана программа автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья «AutoBykl» [74–77, 92]. Программа реализована в среде разработки Lazarus (версия 1.0.6), Free Pascal (версия FPC 2.6.0) [86-87]. Выбранный инструментарий содержит множество стандартных компонентов и функций, необходимых при разработке программе. Помимо этого Lazarus предоставляет возможность интеграции с различными внешними библиотеками.

Программа «AutoBykl» разработана в виде стандартного проекта Lazarus, состоящего из файла самого проекта и модулей. На рисунке 4.4 представлена схема иерархии модулей программы «AutoBykl».

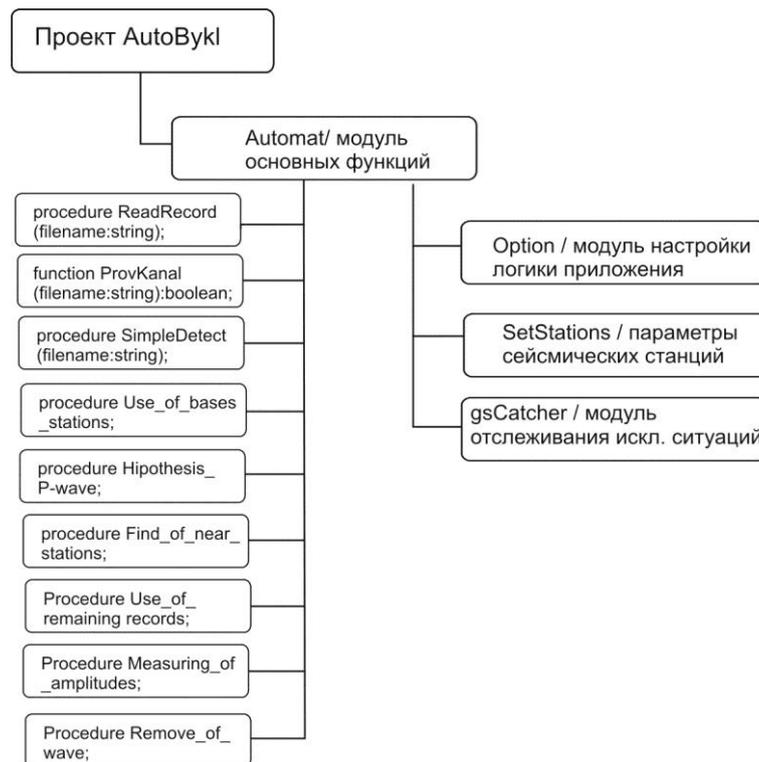


Рисунок 4.4. Схема иерархии модулей и основных процедур программы «AutoBykl»

Основной модуль Automat содержит процедуры и функции детектирования, обработки сейсмических записей, определения основных параметров события, также

реализованы методы, позволяющие пользователю контролировать процесс функционирования программы.

Модуль `SetStation` отвечает за хранение и редактирование основных характеристик сейсмических станций, участвующих при обработке землетрясений (код станции, географические координаты и др.).

Модуль `Option` описывает окно приложения, в котором осуществляется управление логикой функционирования приложения, настройка программы.

С помощью модуля `gsCatcher` происходит обработка исключительных ситуаций – ошибок, время происхождения и код ошибки сохраняются в файле `log.txt` [91]. Полученная информация использовалась при тестировании программы для отладки.

Процедура `ReadRecord` выполняет считывание данных из файлов, содержащих сейсмограммы обрабатываемого землетрясения. Также происходит вызов функции `ProvKanal`, проверяющей 6-ти канальные записи на зарезание значений у чувствительных каналов (в случае сильных землетрясений), и процедуры нормализации записей относительно средней линии (см. пункты 1–3 раздела 4.3).

С помощью процедуры `SimpleDetect` выполняется детектирование сейсмограмм (STA/LTA), формируются списки срабатывания детектора.

В следующей процедуре `Use_of_bases_stations` реализован алгоритм поиска и отбора из списков срабатывания детектора времен вступления сейсмических волн P_g и S_g (см. пункты 4, 5 раздела 4.3) и расчет первого решения для основных параметров землетрясения.

Процедура `Hypothesis_P-wave` выполняется в случае, если время возникновения события совпало только по записям двух сейсмостанций, то происходит дополнительный анализ списков срабатываний детектора для выявления волн P_g , имеющих высокий уровень SNR (см. пункт 6 раздела 4.3).

Процедуры `Find_of_near_stations` и `Use_of_remaining_records` выполняют поиск времен вступления сейсмических волн по известному первичному решению для его уточнения (см. пункты 9, 10 раздела 4.3).

Процедура `Measuring_of_amplitudes` отвечает за расчет магнитуды и энергетического класса обрабатываемого сейсмического события (см. пункт 11 раздела 4.3).

Для проверки превышения невязок времен пробега сейсмических волн заданного порога и исключения неудовлетворительных фаз из обработки используется процедура RemoveWave после каждого этапа расчета основных параметров землетрясения.

Программа имеет два режима интерфейса. На рисунке 4.5 представлен пользовательский графический интерфейс приложения «AutoBykl» с результатами детектирования сейсмических волн на примере записи сейсмостанции «Уоян» (УОА) землетрясения 28 марта 2013 г. с $K_P=11$.

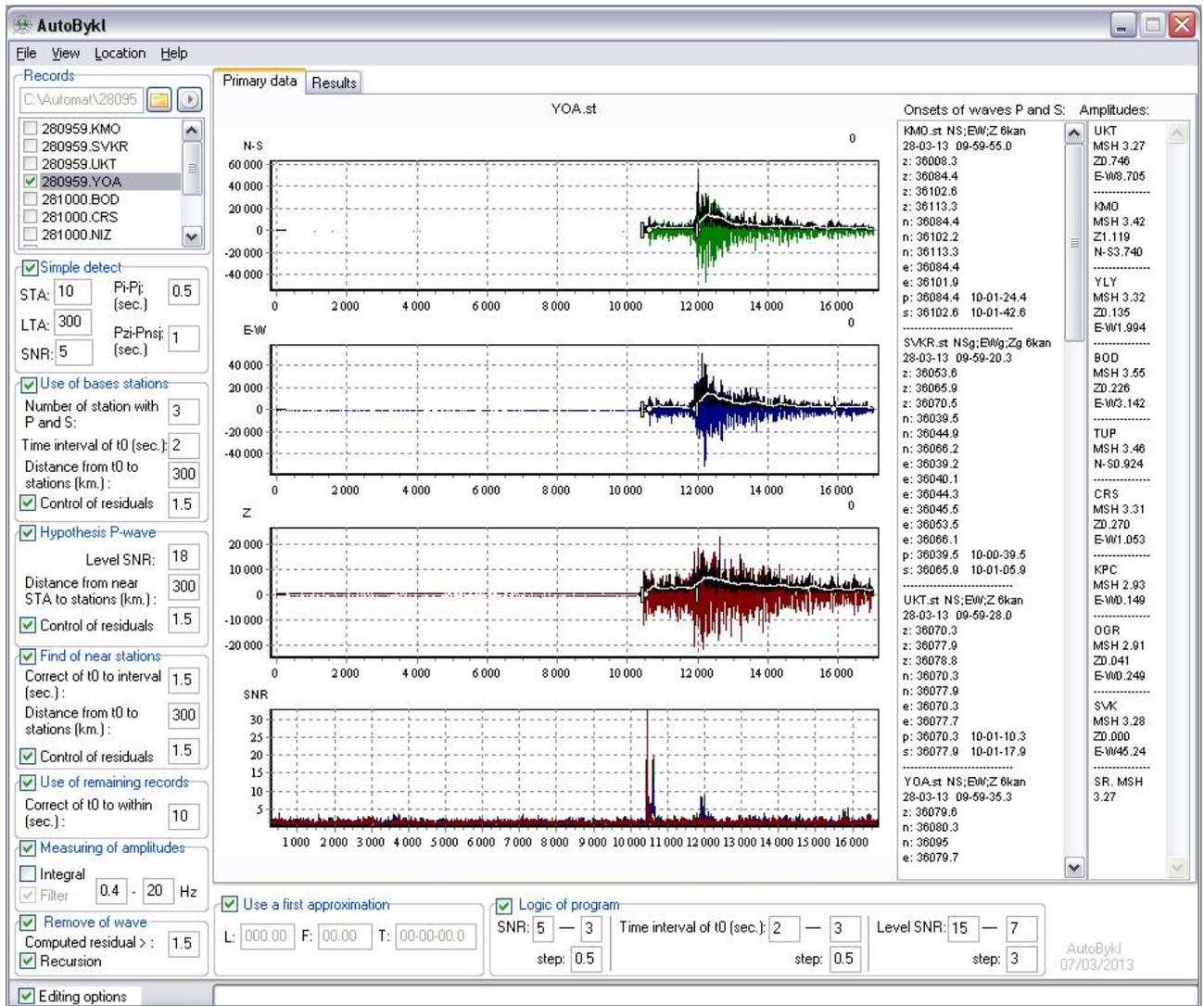


Рисунок 4.5. Автоматическое детектирование фаз прямых волн P_g , S_g на записи сейсмостанции «Уоян». Землетрясение 28.03.2013 г. ($K_P=11$)

При графическом режиме функционирования программы возможно отслеживать каждый шаг выполнения алгоритма и производить оптимальную настройку системы. На рисунке 4.6 представлен пользовательский графический интерфейс приложения

«AutoBykl» с результатами обработки регионального землетрясения 28 марта 2013 г. с $K_p=11$.

Второй режим работы программы «AutoBykl» – автоматический, скрытый – пользователю доступны только полученные результаты.

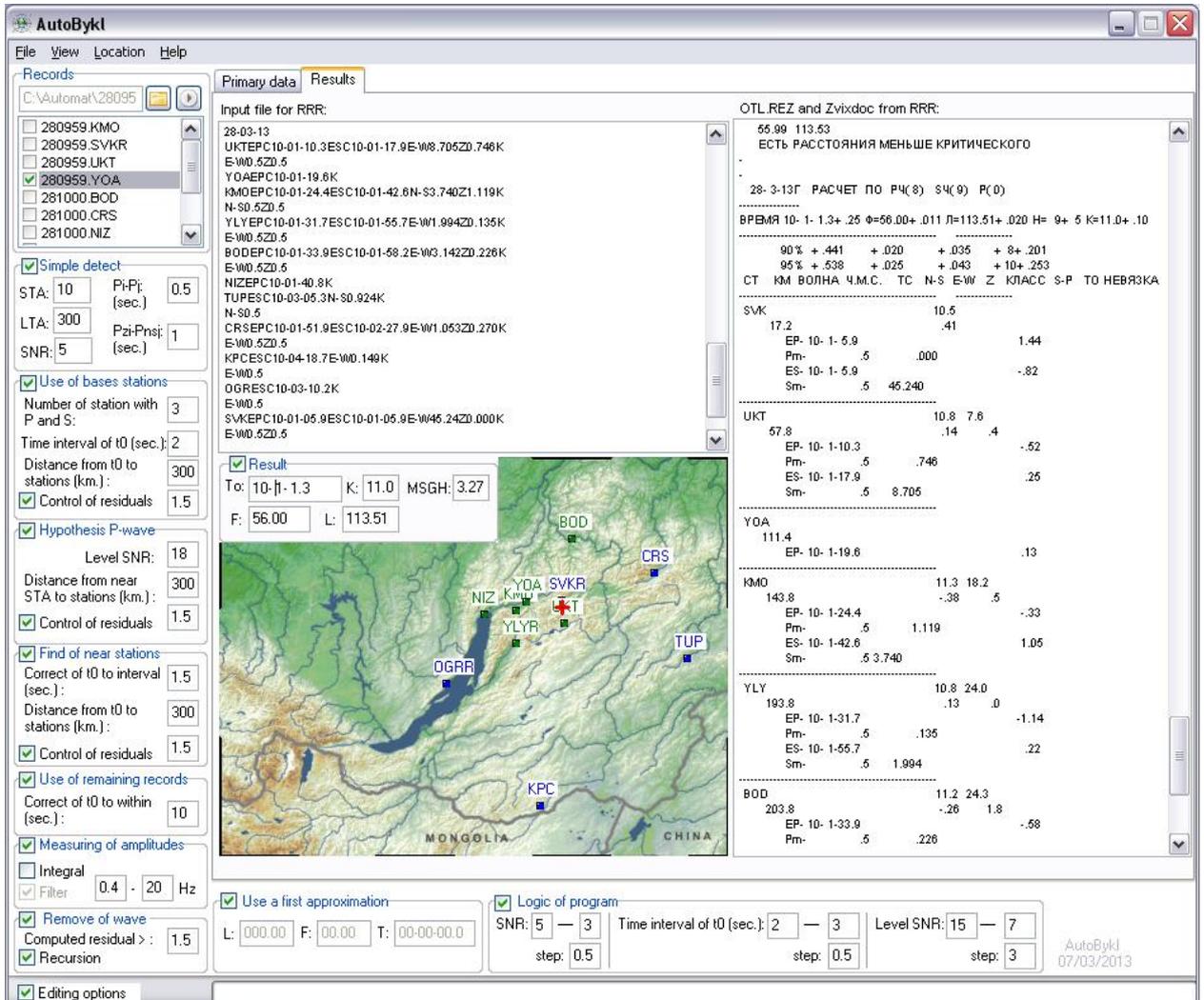


Рисунок 4.6. Интерфейс экспериментального образца программы «AutoBykl» с результатами обработки землетрясения 28.03.2013 г. ($K_p=11$)

При выявлении в автоматическом режиме сейсмического события организуется каталог, содержащий станционные файлы-записи и результаты, полученные программой «AutoBykl». Имя каталога соответствует времени произошедшего события: ddhhmm, где dd – день, hh – час, mm – минута. При наличии 3-х и более сейсмических записей происходит первый запуск программы, при получении следующих новых файлов-записей, относящихся к этому событию, происходит новый запуск программы автоматической обработки. В результате функционирования программы «AutoBykl» на каждом этапе образуются файлы: ddhhmm_n.inp, ddhhmm_n.out, ddhhmm_n.bmp, ddhhmm_n.html, где n – количество запусков программы.

Файл ddhmm_n.inp содержит все найденные фазы и соответствующие значения амплитуд по каждой сейсмической станции, запись которой участвовала в обработке, файл ddhmm_n.out содержит выходной протокол обработки землетрясения, графический файл ddhmm_n.bmp содержит карту эпицентра землетрясения и размещения сейсмических станций, участвовавших в обработке (рисунок 4.7).

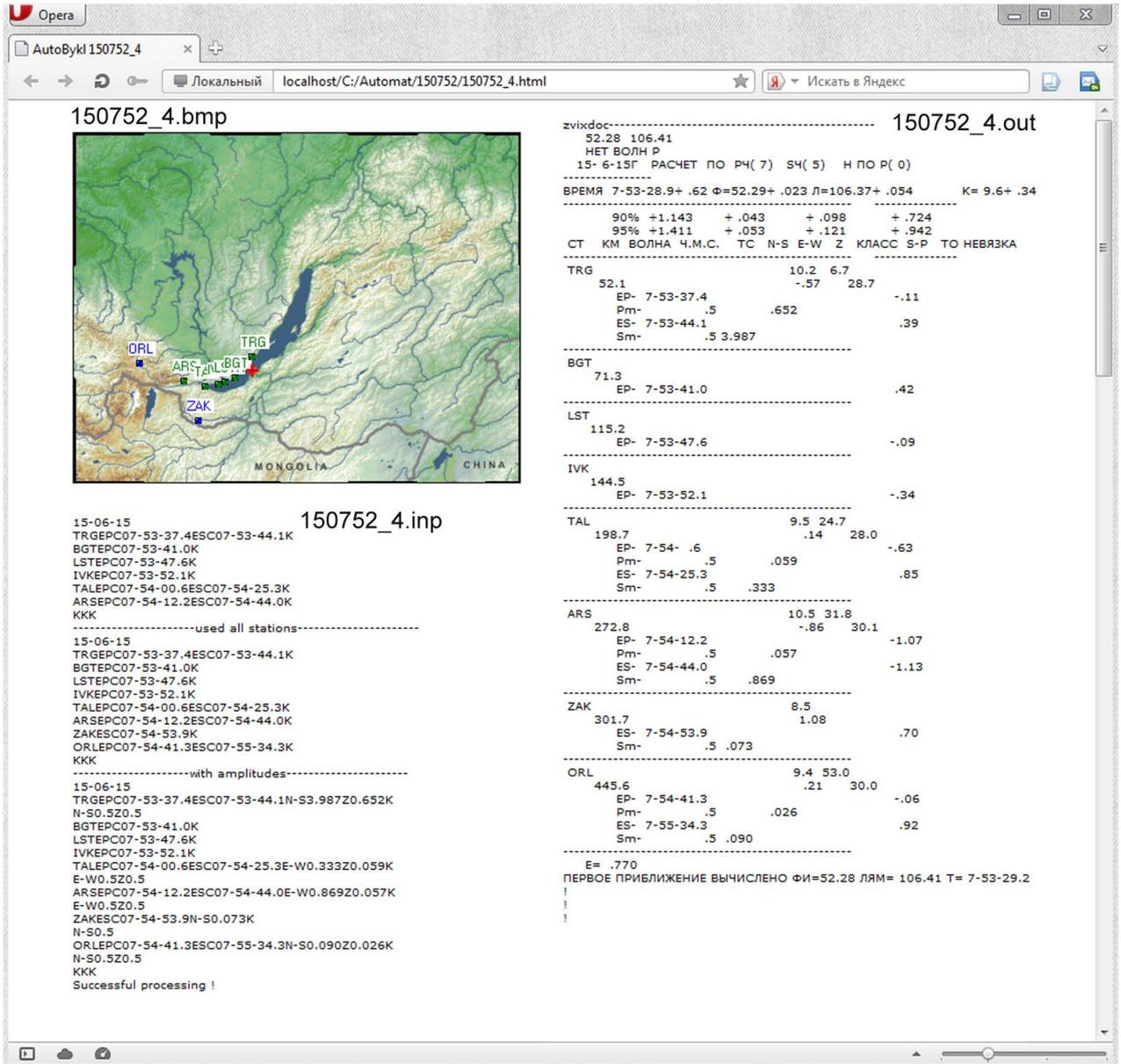


Рисунок 4.7. Результаты функционирования «AutoBykl» на примере землетрясения 15 июня 2015 г. после четвертого запуска программы, приведены: карта с эпицентром и станциями, участвовавшими в обработке (150752_4.bmp); найденные фазы и амплитуды (150752_4.inp); выходной протокол обработки (150752_4.out)

С помощью файла ddhmm_n.html возможен просмотр полученных результатов с помощью браузера. Помимо этого организуется файл скрипт Autodata.ab для внесения

полученных результатов в базу данных и вывода результатов на сайте <http://seis-bykl.ru/modules.php?name=Autobykl&Au=1>.

4.5 Результаты функционирования программы «AutoBykl»

Программа «AutoBykl» с 1 января 2012 года функционирует в Центре сбора информации, станция Иркутск (приложение 4). Результаты автоматической обработки землетрясения 1 октября 2012 года, определенные с помощью программы «AutoBykl» по мере поступления записей с сейсмостанций, приведены на рисунке 4.8.

На каждом этапе представлены основные параметры землетрясения с ошибками определения и время получения решения. Через 4 мин (рисунок 4.8, 1) с момента землетрясения по записям трех станций получено первое решение: определены координаты эпицентра, время в очаге и энергетический класс. На рисунке 4.8 желтым цветом отмечены опорные станции (по записям этих станций определено начальное приближение для основных параметров землетрясения). Белым цветом показаны сейсмостанции, по записям которых отбирались фазы для уточнения полученного решения. Последний результат автоматической обработки (рисунок 4.8, 6) определен через 9 мин по записям 14 станций, ошибка определения координат эпицентра составила менее 1 км.

За период с 01.01.2012 по 10.04.2013 года зарегистрированы и обработаны в автоматическом режиме 194 землетрясения (рисунок 4.9) (приложение 2). В течение 3–7 мин с момента возникновения землетрясений известны основные параметры произошедшего события: время в очаге, географические координаты, сила события – энергетический класс и магнитуда. Как показало сравнение результатов оперативного каталога, содержащего основные параметры землетрясений, имеющих энергетический класс $K_p \geq 9.5$, и автоматической обработки за рассматриваемый период, средняя разность в определении координат эпицентра составила 6 км (приложение 2). Кроме землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 9.5$, составляющих оперативный каталог за указанный период, в автоматическом режиме получены основные параметры событий, имеющих $K_p < 9.5$. Пропуски идентификаций сейсмических событий, имеющих

энергетический класс $K_p \geq 9.5$, при мониторинге в рассматриваемом регионе с помощью разработанного программного обеспечения не были выявлены.

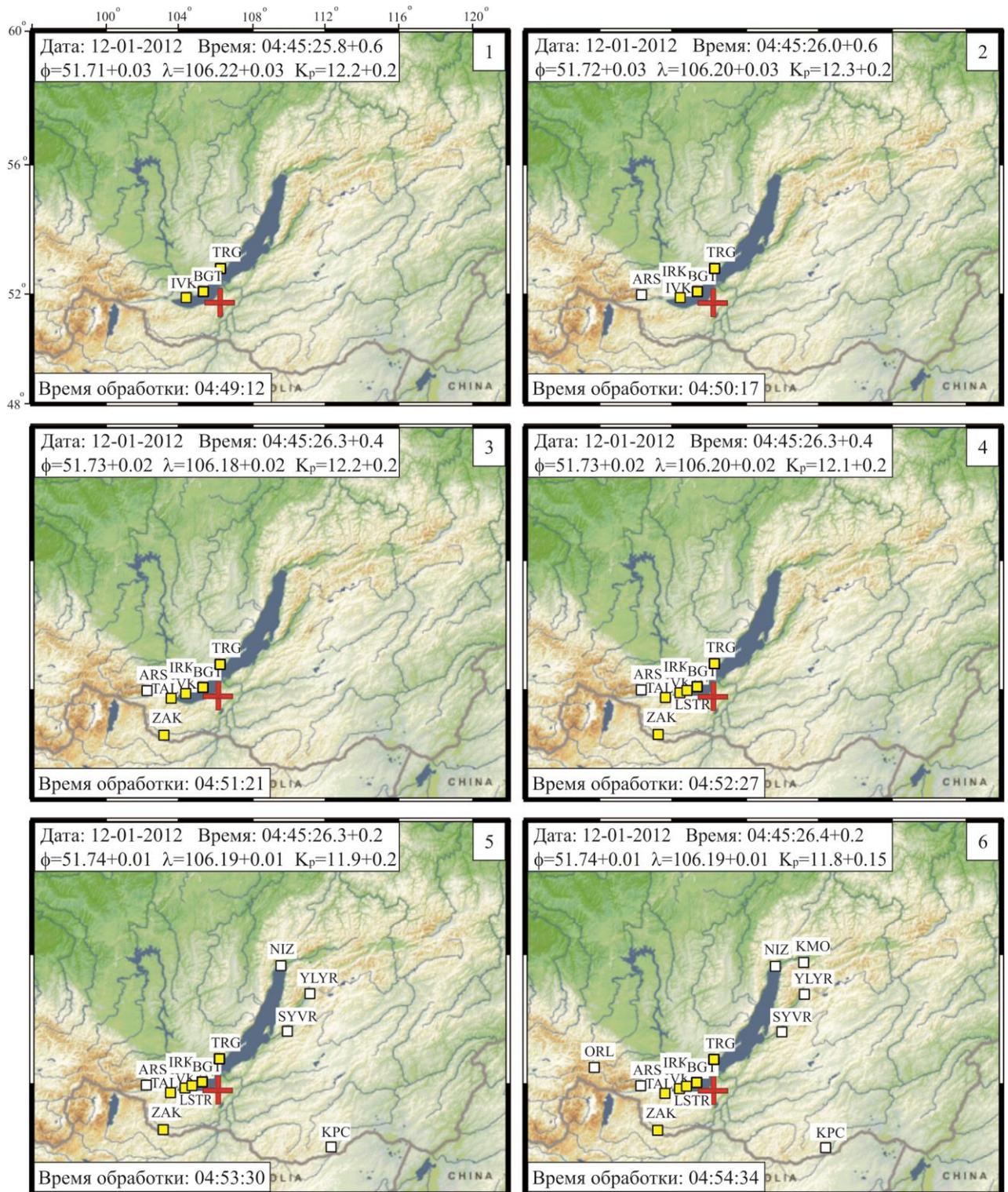


Рисунок 4.8. Результаты автоматической обработки землетрясения 12.01.2012 г., полученные с помощью программы «AutoVukl»

На врезке рисунка 4.9 представлена гистограмма распределения нормированного количества сейсмических событий N относительно разности d между определением географических координат по оперативному каталогу и автоматическим определением.

75% событий имеют разность в определении координат очага до 7 км (приложение 3). Точность определения параметров землетрясения зависит от количества участвующих в обработке станций и расположения их относительно эпицентра [102–104].

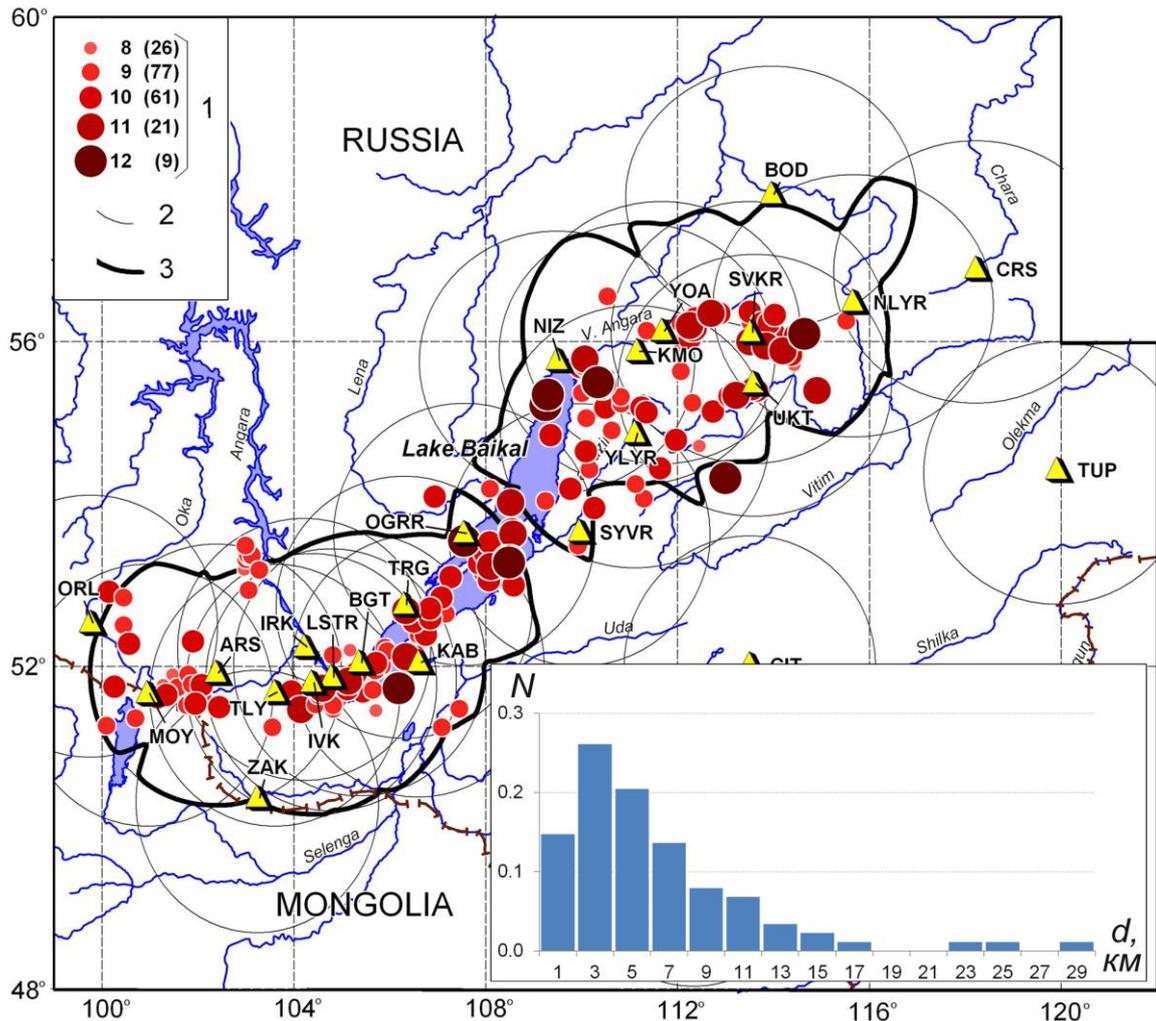


Рисунок 4.9. Карта эпицентров землетрясений, автоматически определенных в режиме времени, близком к реальному, за период с 01.01.2012 по 10.04.2013 гг.

1 – Энергетический класс, Кр; 2 – окружности радиусом 180 км вокруг сейсмических станций; 3 – контур, ограничивающий зоны, в пределах которых располагается не менее трех сейсмических станций с выходом в Интернет. Треугольниками обозначены сейсмические станции БФ ГС СО РАН. На врезке представлена гистограмма распределения нормированного количества сейсмических событий N относительно разности d между определением географических координат по оперативному каталогу и автоматическим определением

В перспективе для улучшения надежности и качества автоматической обработки землетрясений Прибайкалья и Забайкалья необходимы оснащение всех станций рассматриваемого региона бесперебойными средствами связи с Интернет, организация получения цифровых записей в режиме реального времени со станций приграничных территорий соседних регионов (Алтае-Саянский и Якутский филиалы ГС СО РАН) и открытие новых сейсмостанций, улучшающих геометрию сети.

4.6 Выводы

В четвертой главе выполнена постановка задачи и описан предлагаемый метод к решению для задачи автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья.

Отличительными особенностями предложенного метода является: использование 2-х прямых сейсмических волн (P_g – продольной и S_g – поперечной); возможность проведения обработки по акселерограммам при зарезании значений амплитуд у сейсмограмм; для локации эпицентра землетрясения достаточно успешное детектирование вступлений волн P_g и S_g по записям трех сейсмостанций.

Помимо этого предлагаемый алгоритм основывается на традиционной для Прибайкалья методике определения эпицентра землетрясения (С. И. Голенецкий), благодаря чему достигается однородность получаемых результатов с предшествующими многолетними каталогами сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья.

Представлена реализация прикладной программы автоматической обработки региональных землетрясений Прибайкалья «AutoVukl». Рассмотрен пример обработки регионального землетрясения в режиме времени, близком к реальному с помощью программы «AutoVukl».

Приведены результаты функционирования информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья в Байкальском филиале Геофизической службы СО РАН.

Заключение

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Предложены функциональная модель и архитектура информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений региона Прибайкалья и Забайкалья, обеспечивающих сбор, хранение и анализ сейсмических данных в режиме времени, близком к реальному.
2. По результатам анализа деятельности Геофизической службы, на примере БФ ГС СО РАН, предложена методика построения информационной инфраструктуры для комплексного информационно-аналитического обеспечения деятельности Геофизической службы.
3. Разработана и программно реализована технология автоматического сбора первичных материалов наблюдений с сети станций в режиме времени, близком к реальному, отличающаяся возможностями: передавать фрагменты цифровых записей, содержащие волновые формы землетрясений; классифицировать полученные записи с сейсмостанций на сейсмограммы региональных землетрясений, далеких землетрясений или записи помех (программный комплекс «Send_Agent & Receive_Agent»).
4. Разработан и программно реализован новый метод автоматического определения основных параметров регионального землетрясения, основанный на обнаружении вступлений прямых сейсмических волн P_g и S_g по записям трехкомпонентных сейсмостанций региональной сети (программа «AutoVukl»).
5. Проведена апробация разработанной информационно-аналитической системы для мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья.

Все упомянутые исследования и разработки продолжают развиваться. Одним из ведущих направлений исследований является реализация предлагаемой методики построения информационной инфраструктуры исследований в Байкальском филиале Геофизической службе СО РАН.

Список сокращений

БД	– База данных
БФ ГС	– Байкальский филиал Геофизической службы Сибирского отделения
СО РАН	Российской академии наук
ГАСИ	– Группа анализа сейсмической информации
ГМОЦЗ	– Группа методики обработки цифровых записей
ГСО	– Группа сводной обработки
ГПН	– Группа производства наблюдения
ИАС	– Информационно-аналитическая система
НИР	– Научно-исследовательские работы, проекты
ОСМ	– Отдел сейсмического мониторинга
ССД	– Служба срочных донесений
СУБД	– Система управления базами данных
ЦСИ	– Центр сбора информации
ЦСС	– Цифровая сейсмическая станция
as-is	– Вид функциональной модели IDEF0 предметной области, модель существующей организации процесса
ВУКЛ	– Байкальская региональная сейсмическая сеть
CASE	– Computer-Aided Software Engineering – автоматизированное проектирование систем и программного обеспечения
DFD	– Data Flow Diagram – диаграмма потоков данных
EMSC	– European-Mediterranean Seismological Centre – Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр
ESC	– European Seismological Commission – Европейская Сейсмологическая Комиссия
ERD	– Entity-Relation Diagram – диаграмма «сущность-связь»
FTP	– File Transfer Protocol – протокол передачи файлов
GPRS	– General Packet Radio Service – пакетная радиосвязь общего пользования

GSN	– Global Seismographic Network – Глобальная сейсмическая сеть
IDEF0	– Function Modeling – методология функционального моделирования
IRIS	– Incorporated Research Institutions for Seismology – Корпорация научно-исследовательских институтов по сейсмологии
ISC	– International Seismological Centre – Международный Сейсмологический Центр
KORS	– Кольская региональная сейсмическая сеть
KRSC	– Камчатская региональная сейсмическая сеть
LISS	– механизм для распространения цифровых сейсмических данных в оперативном режиме через Интернет
NEIC	– National Earthquake Information Center – Национальный центр информации о землетрясениях (США)
NRTS	– Near Real Time System – оперативная система сбора сейсмических данных в режиме времени, близком к реальному
OBN	– телесеismicкая сеть Геофизической службы РАН
ORFEUS	– Observatories and Research Facilities for European Seismology – Обсерваторий и научно-исследовательские учреждения для сейсмологии Европы
SADT	– Structured Analysis and Design Technique – методология структурного анализа и проектирования
POP3	– Post Office Protocol Version 3 – Интернет-протокол прикладного уровня, используемый для извлечения электронного сообщения с удаленного сервера по TCP/IP-соединению
SMTP	– Simple Mail Transfer Protocol – простой протокол передачи почты
to-be	– Вид функциональной модели IDEF0 предметной области, модель желаемой организации процесса (to-be)
UML	– Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования
USGS	– United States Geological Survey – Геологическая служба США
XML	– Extensible Markup Language – расширяемый язык разметки

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: ГС РАН, – 2012. – С. 151–162.
3. **Global Seismographic Network (GSN)** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iris.edu/hq/programs/gsn> (дата обращения 10.06.2014)
4. **About IRIS** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iris.edu/hq/about_iris (дата обращения 10.06.2014)
5. **Анализ** эффективности федеральной системы сейсмологических наблюдений и разработка технических требований по её совершенствованию : отчет по научно-исследовательской работе ГС РАН. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – 225 с.
6. **About EMSC.** Organisation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org/about/?d=1> (дата обращения 10.06.2014)
7. **National Earthquake Information Center – NEIC** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php> (дата обращения 10.06.2014)
8. **Сеть** сейсмических станций ГС РАН и филиалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru/ceme/net.htm> (дата обращения 10.06.2014)
9. **Маловичко, А. А.** Система сейсмического мониторинга России. Разработка и внедрение новых информационных технологий / А. А. Маловичко // Открытое образование. – 2010. – № 5. – С. 50–56.
10. **Красилов, С. А.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG / С. А. Красилов, М. В. Коломиец, А. П. Акимов // Современные методы обработки и

- интерпретации сейсмологических данных / Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, – 2006. – С. 77–83.
11. **Сафронич, И. Н.** Некоторые возможности и технологические приемы применения программы WSG для научно-исследовательских работ / И. Н. Сафронич, А. П. Акимов, С. А. Красилов // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, – 2011. – С. 290–302.
 12. **Чебров, В. Н.** Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. / В. Н. Чебров, Д. В. Дрознин, и др. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 18.
 13. **Чебров, В. Н.** Система сейсмологических наблюдений на Камчатке на пороге 50-летия / В. Н. Чебров, Д. В. Дрознин, и др. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России / Материалы III научно-технической конференции. – Петропавловск-Камчатский ГС РАН, – 2011. – С. 35–42.
 14. **Дрознин, Д. В.** Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS / Д. В. Дрознин, С. Я. Дрознина // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46. – № 3. – С. 22–34.
 15. **Чебров, Д. В.** Автоматическое определение параметров цунамигенных землетрясений на Дальнем Востоке России в режиме реального времени: алгоритмы и программное обеспечение / Д. В. Чебров, А. А. Гусев // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46. – № 3. – С. 35–57.
 16. **Чебров, Д. В.** Результаты эксплуатации автоматической системы определения параметров очагов землетрясений в реальном времени / Д. В. Чебров, А. А. Гусев // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России / Материалы III научно-технической конференции. – Петропавловск-Камчатский ГС РАН, – 2011. – С. 472–474.
 17. **Асминг, В. Э.** Система сбора и обработки данных Кольского филиала ГС РАН / В. Э. Асминг, Ю. А. Виноградов, А. И. Воронин и др. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, – 2011. – С. 21–34.

18. **Асминг, В. Э.** Модернизированный алгоритм автоматического детектирования и локации землетрясений по одиночной сейсмической группе и опыт его применения для изучения афтершоковой последовательности землетрясения в районе архипелага Шпицберген / В. Э. Асминг, А. В. Федоров // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46. – № 2. – С. 5–14.
19. **Асминг, В. Э.** Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-западного региона : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 25.00.10 / Асминг Владимир Эрнестович. – М., 2004. – 136 с.
20. **AutoDRM Version 2.1 Users Guide** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ipgp.fr/~arnaudl/NanoCD/documentation/Nanometrics/Software/AutoDRM/AutoDRM_UserGuide_14830R4.pdf (дата обращения 10.06.2014)
21. Using the Internet to Distribute **Live Seismic Data** from the GSN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (дата обращения 10.06.2014) http://earthquake.usgs.gov/regional/asl/pubs/files/tech_liss_abstract.php
22. **Berger, J.** The IDA Near real time system [Электронный ресурс] / J. Berger, D. Chavez // Electronics Seismologist. – 1997. – Режим доступа: http://www.seismosoc.org/publications/SRL/SRL_68/srl_68-1_es.html.
23. **Seedlink** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (дата обращения 10.06.2014) <http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/seedlink>
24. **Ильинский, Д. А.** Опыт создания портативной автономной сейсмологической станции, работающей по протоколу реального времени / Д. А. Ильинский, И. М. Алешин и др. // Сейсмические приборы. – 2011. – Т. 47. – № 1. – С. 52–67.
25. **Seiscomp 3** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.seiscomp3.org/> (дата обращения 10.06.2014)
26. **SEED Reference Manual. SEED Format Version 2.4. Standard for the Exchange of Earthquake Data** [Электронный ресурс] – 2012. – Режим доступа: http://www.fdsn.org/seed_manual/SEEDManual_V2.4.pdf.
27. **Хемминг, Р. В.** Цифровые фильтры / Р. В. Хемминг. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
28. **Dataless SEED** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iris.edu/data/dataless.htm> (дата обращения 10.06.2014)

29. **Havskov, J.** Instrumentation in earthquake seismology. Modern Approaches in geophysics / J. Havskov, G. Alguacil. – Springer, 2010. – с. 358.
30. **New Manual** of Seismological Observatory Practice (NMSOP). IASPEI / Editor Bormann P. – GeoForschungsZentrum Potsdam, 2002. – 1111 с.
31. **Scautopick** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (дата обращения 10.06.2014) <http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/scautopick>.
32. **Scautoloc** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (дата обращения 10.06.2014) <http://www.seiscomp3.org/wiki/doc/applications/scautoloc>.
33. **Freiberger, W. F.** An approximate method in signal detection / W. F. Freiberger // Quarterly Applied Mathematics. – 1963. – V. 20. – P. 373–378.
34. **Joswig, M.** Pattern Recognition for Earthquake Detection / M. Joswig // Bulletin of Seismological Society of America. – 1990. – V. 80. – N. 1. – P. 170–186.
35. **Ringdal, F.** A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring / F. Ringdal, T. Kvaerna // Bulletin of Seismological Society of America. – 1989. – Vol. 79. – N. 6. – P. 1927–1940.
36. **Комплект карт** общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. ОСР-97. М-б 1:8 000 000 / Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / Министерство науки и технологий РФ; М.: ОИФЗ РАН, – 1999. – 57 с.
37. **Новый каталог** сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – 536 с.
38. **Радзиминович, Н. А.** Южно-байкальское землетрясение 25 февраля 1999 года с $K_p=14.6$, $I_0=8$ (Прибайкалье) / Н. А. Радзиминович, Н. А. Гилева, В. И. Мельникова и др. // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ФОП, – 2005. – С. 264–279.
39. **Мельникова, В. И.** Кичерские землетрясения 21 марта 1999 года с $K_p=14.5$ и 14.2 , $I_0=7-8$ (Прибайкалье) / В. И. Мельникова, Н. А. Гилева, Н. А. Радзиминович // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ФОП, – 2005. – С. 280–295.
40. **Арефьев, С.С.** Предварительные результаты эпицентральных наблюдений Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. / С. С. Арефьев, В. В. Быкова,

- Н. А. Гилева // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2008. – Т. 35. – № 4. – С. 5–15.
41. **Семибаламут, В. М.** Комплекс автономных регистраторов сейсмических сигналов высокого разрешения / В. М. Семибаламут, А. Ю. Рыбушкин // Проблемы сейсмологии третьего тысячелетия / Материалы международной геофизической конференции в Новосибирске 15–19 сентября 2003 г. – Новосибирск: СО РАН, – 2003. – С. 420–428.
 42. **Маклаков, С. В.** Моделирование бизнес-процессов с BPwin 4.0 / С.В. Маклаков. М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 224 с.
 43. **Марка, Д. А.** Методология структурного анализа и проектирования SADT / Д. А. Марка, К. МакГоуэн. – М.: МетаТехнология, – 1993. – 243 с.
 44. **Голенецкий, С.И.** Программа определения основных параметров землетрясений по наблюдениям региональной сети сейсмических станций Прибайкалья / С. И. Голенецкий, Г. И. Перевалова // Применение математических методов и ЭВМ в геологии и геофизике: Сборник алгоритмов и программ. – Иркутск, – 1984. – С. 35–54. – Деп. в ВИНТИ 03.12.1984, № 7675.
 45. **Вендров, А. М.** CASE – технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А. М. Вендров. – М.: Финансы, 1998. – 176 с.
 46. **Фаулер, М.** UML. Основы / М. Фаулер. К. Скотт. – Изд-во СПб: Символ-Плюс, – 2002. – 192 с.
 47. **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.
 48. **Боггс, У.** UML и Rational Rose: Секреты эффективного проектирования сопровождаемых объектно-ориентированных приложений / У. Боггс, М. Боггс. – М.: Изд-во Лори, 2004. – 583 с.
 49. **Васвани, В.** MySQL: использование и администрирование = MySQL Database Usage & Administration / В. Васвани. – М.: Питер, 2011. – 368 с.
 50. **Бондарь, А.** InterBase и Firebird. Практическое руководство для умных пользователей и начинающих разработчиков / А. Бондарь. – БХВ-Петербург, 2012. – 592 с.

51. **Радзиминович, Я. Б.** Современные способы получения макросейсмических данных и возможности их применения на территории Восточной Сибири / Я. Б. Радзиминович, М. А. Хритова, Н. А. Гилёва // Вулканология и сейсмология. – 2014.– №6. – С. 59–74.
52. **Хритова, М. А.** Система сбора макросейсмических данных об ощутимых землетрясениях в регионе Прибайкалья и Забайкалья / М. А. Хритова, Н. А. Гилева, Я. Б. Радзиминович // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, – 2012. – С. 336–341.
53. **Бахвалов, С. В.** Концепция информационной инфраструктуры Геофизической службы / С. В. Бахвалов, М. А. Хритова // Вестник ИрГТУ, – 2013. – № 2 (73). – С. 21–25.
54. **Добров, Б. В.** Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Б. В. Добров, В. В. Иванов, Н. В. Лукашевич, В. Д. Соловьев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.
55. **Лапшин, В. А.** Онтологии в компьютерных системах / В. А. Лапшин. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
56. **Львов, В.** Создание систем поддержки принятия решений на основе хранилищ данных [Электронный ресурс] / В. Львов // Системы управления Базами Данных. – 1997. – № 3. – Режим доступа:
http://www.osp.ru/data/www2/dbms/1997/03/30.htm#part_11.
57. **Хантер, Д.** XML. Работа с XML = Beginning XML / Дэвид Хантер, Джефф Рафтер, Джо Фаусетт, Эрик ван дер Влиет, и др. – 4-е издание. – М.: Диалектика, 2009. – 1344 с.
58. **Криворучкий, Л. Д.** Информационные технологии исследований развития энергетики / Л. Д. Криворучкий, Л. В. Массель // Новосибирск: Наука, 1995. – 160 с.
59. **Массель, Л. В.** Методы и технологии создания ИТ-инфраструктуры научных исследований / Л. В. Массель // Информационные и математические технологии в науке, технике и образовании / Труды X Байкальской Всероссийской конференции. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, – 2005. – С. 57–65.

60. **Ларман, К.** Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования = Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development / К. Ларман. – 3-е издание. – М.: Вильямс, 2006. – 736 с.
61. **Копайгородский, А. Н.** Репозиторий как ядро информационной инфраструктуры системных исследований в энергетике / А. Н. Копайгородский // Сборник трудов молодых ученых ИСЭМ СО РАН. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, – 2006. – С. 274–281.
62. **Копайгородский, А. Н.** Информационная инфраструктура научных исследований / А. Н. Копайгородский, Н. Н. Макагонова, В. В. Трипутина // Информационные и математические технологии в науке, технике и образовании / Труды X Байкальской Всероссийской конференции. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, – 2005. – С. 72–80.
63. **Массель, Л. В.** ИТ-инфраструктура научных исследований: методический подход и реализация / Л. В. Массель, Е. А. Болдырев, А. Н. Копайгородский, Н. Н. Макагонова, А. В. Черноусов // Вычислительные технологии. – Т. 11. – 2006. – С. 59–68.
64. **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.
65. **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.
66. **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. 1 / Сборник статей 2-ой региональной зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. – Уфа: Издательство «Технология», – 2007. – С. 79–83.

67. **Хритова, М. А.** Комплекс программ для оперативного мониторинга сейсмичности Прибайкалья / М. А. Хритова // Стрoение литосферы и геодинамика / Материалы 24 Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: ИЗК СО РАН, – 2011. – С. 217–218.
68. **Хритова, М. А.** Комплекс программ для оперативного мониторинга сейсмичности Прибайкалья / М. А. Хритова // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России / Материалы III научно-технической конференции. – Петропавловск-Камчатский ГС РАН. – 2011. – С. 406–409.
69. **Хритова, М. А.** Программный комплекс для автоматической пересылки волновых форм землетрясений с сейсмостанций в Центр сбора информации в режиме, близком к реальному времени / М. А. Хритова, Н. А. Гилева // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, – 2010. – С. 243–246.
70. **Хритова, М. А.** Оперативный мониторинг землетрясений Прибайкалья средствами разработанного программного обеспечения / М. А. Хритова, Н. А. Гилева // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, – 2011. – С. 359–364.
71. **Олифер, В. Г.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 4-е издание. – М.: Питер, 2010. – 943 с.
72. **Пакулин, Н. В.** Тестирование протоколов электронной почты Интернета с использованием моделей / Н. В. Пакулин, А. Н. Тугаенко // Труды Института системного программирования РАН. – 2011. – Т. 20. – С. 125–141.
73. **Турунова, М. В.** SMTP идентификация / М. В. Турунова // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 1–3. – С. 105.
74. **Хритова, М. А.** Автоматическая обработка региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья / М. А. Хритова, Н. А. Гилева // Сейсмические приборы. – 2012. – Т. 48. – № 2. – С. 15–27.
75. **Хритова, М. А.** Мониторинг сейсмичности Прибайкалья в режиме реального времени / М. А. Хритова // Стрoение литосферы и геодинамика / Материалы 25

- Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: ИЗК СО РАН, – 2013. – С. 157–158.
76. **Khritova, M.A.** Automated Processing of Regional Earthquakes in Cisbaikalia and Transbaikalia / M. A. Khritova, N. A. Gilyova // *Seismic Instruments*. – 2013. – Vol. 49. – N. 1. – P.53–63.
77. **Khritova, M.A.** The program “AutoBykl” of automatic determination of basic parameters of regional earthquakes of Lake Baikal region / M. A. Khritova, N. A. Gilyova // *Book of abstracts 33rd General Assembly of the European Seismological Commission*. М.: РН “Poligrafikwik”, – 2012. – P. 272.
78. **Никифоров, И. В.** Оперативная обработка данных автоматизированной сейсмической станции. Теория и практика / И. В. Никифоров, И. Н. Тихонов, Т. Г. Михайлова / Отв. ред. А.И. Иващенко. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – 175 с.
79. **Тихонов, И.Н.** Алгоритм автоматической классификации регистрируемого землетрясения по удаленности на основе трехкомпонентной записи / И. Н. Тихонов // *Вулканология и сейсмология*. – 1992. – № 1. – С. 94–100.
80. **Инструкция** по обработке сейсмологических наблюдений на сейсмических станциях БОМСЭ / Отв. составители: Г. Я. Медведева, Л. П. Охлопкова, И. Г. Голенецкая. – Иркутск, 1983. – 33 с.
81. **Буллен, К. Е.** Введение в теоретическую сейсмологию / К. Е. Буллен. – М.: Мир, 1960. – 466 с.
82. **Bath, M.** Introduction to seismology / M. Båth. – Birkhauser Verlag. Basel, 1979. – pp. 428.
83. **Кушнир, А. Ф.** Трехкомпонентный анализ сейсмограмм для оценивания параметров Р и S волн / А. Ф. Кушнир // *Обработка изображений геофизической среды* / Под ред. д.ф.-м.н. В.Ф. Писаренко и к.ф.-м.н. В.В. Радужного. – М: Наука, – 1989. – С. 70 – 88.
84. **Cichowicz, A.** An automatic S-phase picker / A. Cichowicz // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1993. – V. 83. – № 1. – P. 180–189.
85. **Goforth, T.** An automatic seismic signal detection algorithm based on the Walsh transform / T. Goforth, E. Herrin // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1981. – V. 71. – № 5. – P. 1351–1360.

86. **Алексеев, Е.Р.** Free Pascal и Lazarus. Учебное пособие по программированию / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова, Т.В. Кучер. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 440 с.
87. **Ляш, О.И.** Возможность использования бесплатной среды разработки приложений Lazarus / О.И. Ляш // Сборник научных трудов SWORLD. – 2009. – Т.3. – № 1. – С.16–18.
88. **Антонянц, В. В.** RAS API: программирование, решения, проблемы...[Электронный ресурс] / В. В. Антонянц // Библиотека Интернет Индустрии I2R.ru. – Режим доступа: http://www.i2r.ru/static/565/out_19508.shtml.
89. **Работа с Интернетом** и модемом. Delphi World 6 Professional edition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://delphiworld.narod.ru/base/inet_dial.html.
90. **Терехов, А.** Ras API [Электронный ресурс] / А. Терехов. – Режим доступа: http://www.delphisources.ru/pages/faq/base/ras_api_for_beginners.html.
91. **Волушкова, А.Ю.** Анализ работы с исключениями в различных языках программирования / А.Ю. Волушкова // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 1 (4). – С.62–67.
92. **Хритова, М. А.** Информационная система мониторинга сейсмичности Прибайкалья в режиме реального времени / М. А. Хритова, Н. А. Гилева // Геоинформатика, – 2013. – № 3. – С. 8–20.
93. **Тихонов, И.Н.** Практика оперативного выделения поперечных волн на записях близких землетрясений с помощью ЭВМ / И. Н. Тихонов, И. В. Никифоров, Т. Г. Михайлова // Сейсмические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. – М.: Наука, – 1989. – С. 66–72.
94. **Никифоров, И. В.** Статистические алгоритмы обработки трехкомпонентных сейсмограмм в реальном времени / И. В. Никифоров, И. Н. Тихонов, Е. А. Гребенюк // Идентификация систем и задачи управления / Материалы Восьмой Международной конференции. SICPRO. – 2009. – С. 1019–1034.
95. **Klumpen, E.** Automated reevaluation of local earthquake data by application of generic polarization patterns for P- and S-onsets / E. Klumpen, M. Joswig // Computers & Geosciences. – 1993. – N. 19. – P. 223–231.

96. **Magotra, N.** Seismic event detection and source location using singlestation (three-component) data / N. Magotra, N. Ahmed, E. Chael // *Bulletin of Seismological Society of America*. – 1987. – V. 77. – P. 958–971.
97. **Stewart, S. S.** Real-time detection and location of local seismic events in Central California / S. S. Stewart // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1977. – V. 67. – № 2. – P. 433–452.
98. **Roberts, R. G.** Real-time detection, phase identification and source location estimation using single station three-component seismic data / R. G. Roberts, A. Christoffersson, F. Cassidy // *Geophys. J.* – 1989. – V. 97. – P. 471–480.
99. **Joswig, M.** Automated seismogram analysis for the tripartite BUG array: an introduction / M. Joswig // *Computers & Geosciences*. – 1993. – N. 19. – P. 203–206.
100. **Голенецкий, С. И.** Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья / С. И. Голенецкий // *Землетрясения в СССР в 1985 году*. – М.: Наука, – 1988. – С. 124–135.
101. **Каханер, Д.** Численные методы и программное обеспечение / Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш / пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 575 с.
102. **Хритова, М. А.** Автоматизация функций Геофизической службы Прибайкалья / М. А. Хритова // *Винеровские чтения / Труды IV Всероссийской конференции*. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, – 2011. – С. 242–248.
103. **Хритова, М. А.** Автоматическая система мониторинга сейсмичности Байкальской рифтовой зоны / М. А. Хритова // *Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Материалы Второй Всероссийского симпозиума*. – Иркутск: ИЗК СО РАН, – 2013. – Т. 2. – С. 154–158.
104. **Папкина, А. А.** Методы обработки сейсмической информации службой срочных донесений БФ ГС СО РАН при сильных землетрясениях / А. А. Папкина, М. А. Хритова // *Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии. Материалы Четвертой Всероссийской научно-практической конференции*. – Улан-Удэ: ГИН СО РАН, – 2013. – С. 279–282.

Приложение 1

Форматы представления цифровых сейсмограмм

Одним из главных информационных объектов является сейсмограмма, последовательности временных данных, измеренных в одной точке пространства через равные промежутки времени.

Для хранения цифровых сейсмограмм используется множество форматов представления данных: Seed, MiniSeed, CSS, SAC, Baikal и др.

Самый распространенный в мире формат для хранения и обмена цифровыми сейсмологическими данными является SEED. SEED – международный стандартизированный формат, разработан исследовательским научным сообществом. Формат SEED структурно состоит из Dataless (metadata) и MiniSeed. Dataless содержит информацию о сейсмической станции, параметры используемых регистраторов (координаты и высота станции, амплитудно-частотные характеристики датчиков и др.). MiniSeed представляет собой логическую структуру данных включающую в себя заголовки, последовательность блоков и данные. Данные хранятся в сжатом виде, используется собственный алгоритм сжатия данных.

Преимущество использования формата MiniSeed для представления сейсмических данных: имеется множество аппаратных и программных решений, экономия трафика и дискового пространства, устойчивость к локальным сбоям (ошибки передачи по сети, ошибки дисков, ошибки GPS).

Недостатки использования MiniSeed: в большинстве программных решениях Dataless и MiniSeed разрознены, или Dataless не учитывается; информация о количестве видимых спутников, найденных координатах и синхронизации времени записывается в одном поле Timing quality – некоторый коэффициент качества данных.

Для просмотра и анализа сейсмологических данных представленных в формате MiniSeed используются программы: SeisGram2K, PQL II, Geopsy. Формат MiniSeed

используется при передачи данных со станции в центр сбора по протоколам SeedLink, Liss и др.

Формат данных Seed (MiniSeed) как основной формат хранения сейсмологических записей используется мировыми сейсмологическими агентствами (USGS, EMSC, NEIC) и филиалами Геофизической службы СО РАН (АСФ ГС СО РАН, КФ ГС РАН).

Выбор используемого формата для сейсмических записей зависит от используемого сейсмологического оборудования, регистратора (Quanterra, Lennartz, Guralp, Nanometrics, Байкал-11 и др.).

Описание формата файлов «Байкал», используемого для хранения цифровых сейсмических записей

На всех станциях Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН используются регистраторы Байкал-11, поэтому для представления сейсмологических записей используется формат Baikal.

Каждый файл-запись формата «Baikal» состоит из структуры «Main-header», структур «Channel-header» по количеству содержащихся каналов в файле и самих данных.

Структура «Main-header» занимает 120 байт и содержит информацию: количество каналов, номер версии программы регистрации, дата регистрации (день, месяц, год), количество видимых спутников, количество секунд без синхронизации, признак синхронизации со спутниками, разрядность используемого АЦП при регистрации, код сейсмической станции, частота дискретизации данных в секундах, время первой точки в секундах от начала текущих суток и географические координаты сейсмической станции (широта, долгота).

Структура «Channel-header» для каждого канала имеет объем 72 байта и состоит из полей: физический номер канала, имя канала, тип используемого датчика, коэффициент канала (количество микрон на дискрету), частота калибровки канала.

После структур последовательно записаны данные, размер одного отсчета зависит от разрядности АЦП. В одном файле содержится последовательность данных длиной до 4 минут.

Недостатки использования формата Baikal: отсутствие алгоритма сжатия данных, отсутствие программных решений для передачи данных со станций и централизованной

обработки набора сейсмограмм землетрясения. Преимуществом использования формата `Baikal` является наличие полной информации о сейсмической станции, используемых регистраторах в каждом файле.

```
typedef struct MAIN_HEADER {
    short    kan;           //количество каналов
    short    tip_test;     //тип теста
    short    vers;        //номер версии программы регистрации
    short    day;         //день
    short    mounth;     //месяц
    short    year;        //год
    short    satellit;    //количество видимых спутников
    unsigned short // количество минут без valida
    short    pri_synhr;   //признак синхронизации
    short    razr;       //разрядность АЦП
    short    reserv_short[6];
    char    station[16]; //имя станции
    double   dt;         //частота дискретизации в секундах
    double   to;        //время первой точки в секундах от начала текущих
суток
    double   deltas;
    double   Latitude;   // широта
    double   Longitude;  // долгота
    double   reserv_double[2];
    long     reserv_long[4];
}main_header;

typedef struct CHANNEL_HEADER {
    short    phis_nom;    //физический номер канала
    short    reserv[3];
    char     name_chan[24]; //имя канала
    char     tip_dat[24];  //тип датчика
    double   koef_chan;   //коэффициент, микрон на дискрету
    double   calcfreq;    //частота калибровки
}channel_header;
```

Приложение 2

Каталог землетрясений, мониторинг которых осуществлялся с помощью разработанной ИАС

Ниже в таблице П2 представлены основные параметры землетрясений, произошедших за период с 01.01.2012 г. по 10.04.2013 г., мониторинг которых осуществлялся автоматически в режиме времени, близком к реальному, с помощью разработанного программного обеспечения («Send_Agent & Receive_Agent», «AutoVukl»).

Помимо основных параметров определенных для каждого землетрясения (время в очаге, географические координаты, энергетический класс, магнитуда), в таблице П2 приведена ошибка определения географических координат и время получения первых результатов обработки с момента возникновения землетрясения.

Таблица П2. Каталог землетрясений, произошедших за период с 01.01.2012 г. по 10.04.2013 г., результаты автоматической обработки

№	Дата, (число, месяц, год)	Время в очаге, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	M	Ошибка определения, км	Время обработки, мин
1	08.01.2012	05:16:08.0	52.93	100.15	10.3	3	3.4	6
2	09.01.2012	06:02:27.3	55.41	114.91	11.1	3.4	1.3	5
3	12.01.2012	04:45:26.4	51.74	106.19	11.8	3.8	1.3	4
4	19.01.2012	05:33:29.5	51.7	105.44	9.8	2.6	1.7	4
5	23.01.2012	13:44:31.0	55.9	114.2	11.2	3.5	1.2	7
6	27.01.2012	13:54:42.5	55.25	110.83	8.7	2	4.6	5
7	31.01.2012	09:16:55.7	54.92	110.63	9.3	2.3	3	3
8	02.02.2012	18:46:47.6	54.08	111.3	9.1	2.2	6.5	4
9	04.02.2012	05:18:06.6	53.24	108.11	10.7	3.2	2.1	6
10	06.02.2012	23:59:10.3	52.32	101.9	10.3	3	2.3	3
11	07.02.2012	05:57:44.6	54.05	109.25	8.8	2.2	3.7	5
12	12.02.2012	03:27:20.7	52.13	106.34	11	3.3	1.8	7
13	12.02.2012	22:35:43.6	56.08	114.5	10.8	3.2	2.3	6
14	15.02.2012	23:18:40.6	56.34	114.03	10.5	3	1.2	4
15	20.02.2012	03:27:20.7	52.13	106.34	11	3.3	2.3	5

№	Дата, (число, месяц, год)	Время в очаге, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	M	Ошибка определения, км	Время обработки, мин
16	21.02.2012	09:01:06.2	56.25	113.53	8.6	2	5.6	8
17	22.02.2012	01:13:20.8	56	113.61	8.8	2.2	1.4	9
18	23.02.2012	17:16:20.6	55.55	110.48	10.3	3	2	5
19	27.02.2012	13:30:50.5	55.98	113.69	9.6	2.5	2.4	7
20	08.03.2012	11:22:35.5	56.21	112.25	10.8	3.2	3.4	11
21	12.03.2012	00:54:25.9	51.69	104.59	8.6	2	0.9	4
22	15.03.2012	19:12:45.3	54.86	109.36	10.3	2.9	1.7	3
23	16.03.2012	14:06:50.5	55.76	110.13	8.6	1.9	4.9	6
24	16.03.2012	19:25:48.3	51.26	103.56	9.5	2.5	1	5
25	19.03.2012	10:14:13.7	55.96	113.84	11.1	3.3	1.4	7
26	22.03.2012	08:45:04.1	51.49	104.82	9.1	2.3	1.8	4
27	23.03.2012	22:31:38.7	55.35	113.22	11.1	3.4	1.2	8
28	24.03.2012	05:58:06.0	51.26	107.09	8.8	2.2	3.8	3
29	26.03.2012	03:19:17.6	53.67	108.55	10.6	3.1	2.3	9
30	27.03.2012	03:40:47.8	53.64	108.57	10.6	3.1	3.3	4
31	29.03.2012	00:48:00.9	52.02	105.84	9	2.2	1.4	10
32	29.03.2012	19:39:21.5	54.44	110.17	9.2	2.4	1.6	5
33	07.04.2012	04:40:54.8	53.39	103.04	9.2	2.3	4.3	6
34	07.04.2012	10:20:42.0	52.7	106.34	10.7	2.9	5.1	6
35	08.04.2012	04:40:23.1	55.41	110.13	8.5	1.9	2.4	7
36	08.04.2012	08:20:31.4	55.38	110.01	9	2.1	5.7	4
37	08.04.2012	10:09:35.0	55.4	110.13	8.5	1.9	3.3	5
38	09.04.2012	10:15:14.8	52.86	107.08	9.8	2.8	6	5
39	12.04.2012	16:17:45.5	51.63	101.17	9.9	2.7	1.9	3
40	13.04.2012	09:46:30.2	51.6	104.98	8.5	1.9	3.6	8
41	14.04.2012	22:03:10.1	51.75	101.58	9.1	2.3	2.7	5
42	17.04.2012	07:38:16.0	53.38	103.13	9.2	2.3	6.2	6
43	18.04.2012	03:38:51.0	55.33	110.82	9.1	2.2	2.3	4
44	20.04.2012	21:32:31.1	52.39	106.74	9.2	2.4	3.7	7
45	26.04.2012	11:39:11.8	51.49	104.15	7.7	1.4	4.7	6
46	28.04.2012	21:04:19.0	51.76	100.26	9.7	2.5	3.1	5
47	05.05.2012	06:43:10.0	56.09	114.05	9.8	2.7	1.6	5
48	06.05.2012	22:21:48.4	55.52	110.48	9.3	2.4	1.7	6
49	07.05.2012	21:32:23.2	51.73	105.12	9.7	2.6	1.1	4
50	08.05.2012	08:39:33.3	56.05	112.26	9.6	2.5	1.4	7
51	08.05.2012	09:36:45.6	51.54	104.46	8.7	2.0	2.3	8
52	10.05.2012	04:09:03.2	55.4	112.62	9.4	2.5	2	3
53	21.05.2012	04:05:59.2	52.6	106.85	9.9	2.8	3.9	3
54	21.05.2012	05:53:55.2	56.36	112.87	10	2.7	7.1	4
55	25.05.2012	18:08:10.6	53.47	107.57	9	2.2	11	5
56	26.05.2012	07:16:22.0	51.74	102.12	8	1.7	6.3	5
57	29.05.2012	08:45:12.8	51.6	104.56	7.7	1.6	30	6
58	30.05.2012	11:33:38.9	56.11	114.64	11.7	3.6	2.1	6
59	03.06.2012	19:20:25.9	51.47	105.72	8.5	1.9	1.1	5
60	05.06.2012	14:33:43.1	51.59	101.73	8.2	1.9	1.8	5
61	05.06.2012	22:53:50.1	52.2	105.95	9.5	2.5	3.6	8
62	06.06.2012	16:39:55.8	52.52	100.45	9.2	2.2	2.4	7

№	Дата, (число, месяц, год)	Время в очаге, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	M	Ошибка определения, км	Время обработки, мин
63	07.06.2012	20:12:42.4	52.16	106.55	8.9	2.2	1.9	9
64	14.06.2012	11:36:40.6	55.07	110.1	8.9	2.5	2.3	3
65	14.06.2012	18:40:43.4	51.7	103.95	10.1	2.9	2.2	4
66	15.06.2012	11:46:21.9	55.51	110.34	11.7	3.6	1.8	7
67	15.06.2012	18:05:48.6	55.49	110.43	10.6	3.0	1.8	5
68	17.06.2012	05:51:49.3	54.8	111.97	10.3	2.9	2.9	12
69	20.06.2012	04:13:08.8	51.98	105.75	8.6	2.1	5.4	6
70	25.06.2012	05:00:05.6	51.53	104.82	9.3	2.5	1.2	4
71	27.06.2012	03:25:53.3	51.96	105.7	9.5	2.5	3.8	5
72	28.06.2012	22:06:05.5	54.45	111.64	10	2.8	8	3
73	29.06.2012	04:08:08.9	54.2	109.77	9.6	2.6	1.7	7
74	30.06.2012	03:52:42.6	55.41	113.66	10.2	2.9	4.4	8
75	11.07.2012	18:26:05.5	51.72	105.65	8.6	2.0	14	8
76	13.07.2012	11:34:32.8	52.72	106.84	10.1	2.9	4.3	5
77	15.07.2012	00:09:18.8	55.72	110.07	8.8	2.2	4.4	6
78	15.07.2012	18:36:12.6	55.95	113.8	7.9	1.7	3.3	4
79	16.07.2012	17:00:57.0	51.55	101.95	10.5	3.1	2.6	7
80	18.07.2012	11:19:07.5	51.28	100.1	9.2	2.3	3.8	6
81	23.07.2012	03:52:06.9	55.74	110.04	9.2	2.4	2.7	5
82	26.07.2012	21:00:11.3	52.24	105.9	9.4	2.4	1.6	5
83	28.07.2012	20:01:09.8	56.02	113.55	9.7	2.7	2.2	6
84	31.07.2012	03:16:16.8	55.73	114.44	8.4	2.0	2.3	4
85	07.08.2012	13:36:11.6	51.72	106.23	9.7	2.5	1.9	5
86	11.08.2012	7:12:43	52.86	100.45	9.5	2.6	4.7	3
87	14.08.2012	18:57:13.5	51.48	104.14	10.6	3.1	1.4	9
88	16.08.2012	16:39:29.4	54.1	106.94	10	2.8	2.3	3
89	19.08.2012	16:36:47.4	51.66	101.35	10.2	2.9	1.9	4
90	23.08.2012	12:27:28.0	56.27	115.52	8.6	2.0	1.7	5
91	26.08.2012	10:43:54.2	51.74	104.59	11.1	3.3	1.4	7
92	10.09.2012	04:16:29.7	56.04	114.35	9.2	2.3	0.6	5
93	12.09.2012	23:24:01.0	52.56	106.5	9.7	2.6	3	5
94	17.09.2012	11:38:32.9	51.71	102.01	8	1.7	1.6	6
95	19.09.2012	17:21:53.9	52.29	100.57	10.3	2.9	2.3	7
96	25.09.2012	04:15:11.2	56.24	112.06	8.9	2.1	2.8	4
97	01.10.2012	17:48:33.6	53.31	108.49	12	3.9	2.2	2
98	03.10.2012	00:47:20.3	53.29	108.54	10.6	3.1	1.8	9
99	05.10.2012	23:04:25.1	53.29	108.49	12.1	4.0	1.4	3
100	11.10.2012	18:01:57.6	51.66	104.52	8.9	2.2	1	4
101	12.10.2012	08:06:00.8	55.49	110.36	9.3	2.3	1.8	5
102	17.10.2012	20:04:28.6	56.24	113.91	10	2.8	2.6	5
103	18.10.2012	00:55:36.3	55.7	109.98	9.9	2.8	2.9	6
104	20.10.2012	18:48:31.3	52.4	106.6	9.4	2.5	2.6	6
105	30.10.2012	10:11:41.9	53.56	107.55	12.1	3.8	1.7	5
106	03.11.2012	12:33:05.2	55.2	111.25	10	2.8	2.2	5
107	08.11.2012	17:56:03.4	55.76	110.13	10	2.7	5.3	4
108	08.11.2012	18:31:32.1	55.8	110.07	10.7	3.1	4.8	4
109	08.11.2012	18:54:41.6	55.79	110.15	9.2	2.2	2.4	3

№	Дата, (число, месяц, год)	Время в очаге, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	M	Ошибка определения, км	Время обработки, мин
110	16.11.2012	09:19:29.9	53.96	110.27	10.5	3.1	2	6
111	16.11.2012	15:59:46.2	51.91	101.8	9.1	2.2	1.8	7
112	21.11.2012	01:49:33.4	54.2	108.09	8.8	2.4	4.8	5
113	27.11.2012	21:32:03.4	56.36	112.7	11.3	3.4	1.2	5
114	28.11.2012	06:18:31.7	52	105.5	8.9	2.5	4.8	6
115	05.12.2012	07:03:48.3	53.2	103.28	9.3	2.4	2.7	7
116	05.12.2012	08:49:36.7	51.91	105.29	9.1	2.3	2.2	4
117	05.12.2012	11:26:35.5	51.51	102.45	9.8	2.2	13	4
118	09.12.2012	08:48:43.1	54.03	108.52	10.9	3.3	2.9	8
119	19.12.2012	20:57:45.0	55.14	111.36	10.4	2.8	2.1	3
120	22.12.2012	05:09:24.8	52.15	104.81	8.6	2.1	12	3
121	26.12.2012	03:18:41.1	53.99	110.4	8.5	2.0	6.9	5
122	26.12.2012	21:49:19.6	53.11	107.27	9.6	2.6	0.9	6
123	28.12.2012	01:12:45.8	54.26	111.13	9.2	2.4	6.1	2
124	29.12.2012	00:07:32.4	52.05	105.72	10.4	3.0	2	4
125	02.01.2013	16:45:20.2	51.91	101.48	8.3	1.7	5.7	5
126	04.01.2013	22:23:57.2	55.23	109.25	11.9	3.8	1.4	4
127	04.01.2013	22:46:49.6	54.33	113	11.7	3.8	2.6	5
128	05.01.2013	11:49:31.8	52.05	106.34	8.9	2.1	3	6
129	06.01.2013	07:20:35.1	55.26	109.24	10.2	3.0	1.8	7
130	06.01.2013	07:26:34.5	55.29	109.24	9.8	2.7	2.7	4
131	06.01.2013	11:32:41.1	55.27	109.18	10.1	2.7	1.7	4
132	07.01.2013	18:56:32.9	53.29	108.55	10.4	3.1	1.1	8
133	08.01.2013	11:51:56.9	51.83	105.14	11.4	3.8	1.8	3
134	21.01.2013	01:14:58.2	56.38	113.51	9.6	2.5	2.2	3
135	21.01.2013	14:55:06.7	52.95	103.06	9.4	2.5	1.7	5
136	22.01.2013	04:09:22.2	51.79	101.88	9.4	2.4	3.3	6
137	25.01.2013	22:17:50.2	55.2	110.5	10	2.7	2.6	7
138	27.01.2013	08:45:13.2	55.67	110.11	8.8	2.1	3.4	4
139	30.01.2013	05:56:09.7	51.9	105.38	7.9	1.7	4.6	5
140	30.01.2013	16:27:42.4	56.07	113.99	9.6	2.5	2.3	5
141	02.02.2013	06:55:26.4	55.65	112.07	9.5	2.5	1.9	6
142	02.02.2013	19:01:39.8	53.5	109.93	9.1	2.4	14	6
143	03.02.2013	22:09:27.4	54.73	112.46	8.5	1.8	11	4
144	10.02.2013	21:10:51.4	52.14	106.35	9.2	2.4	1.3	4
145	11.02.2013	08:04:03.0	53.21	102.97	8.2	1.8	3.6	7
146	13.02.2013	04:42:21.8	53.5	102.99	9.2	2.4	3.6	4
147	13.02.2013	13:50:01.4	56.15	111.36	8.9	2.2	3.3	4
148	14.02.2013	06:25:01.2	56.15	113.68	9.5	2.2	1.6	8
149	14.02.2013	15:02:36.1	51.37	100.7	9.4	2.4	2.8	3
150	14.02.2013	21:37:18.2	51.78	102.08	10	2.8	3.4	3
151	18.02.2013	03:11:13.6	55.85	114.37	9.9	2.7	0.2	5
152	19.02.2013	00:34:14.9	55.34	113.09	10	2.6	3.7	6
153	19.02.2013	06:01:41.3	53.37	103.08	9	2.3	5.9	7
154	22.02.2013	05:07:45.6	53.36	103.09	8.8	2.1	4.2	4
155	23.02.2013	14:16:35.3	55.81	110.04	9.5	2.6	3.2	5
156	25.02.2013	18:43:42.2	51.63	101.3	8.2	1.9	2.8	5

№	Дата, (число, месяц, год)	Время в очаге, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	M	Ошибка определения, км	Время обработки, мин
157	26.02.2013	18:40:41.7	56.21	114.78	8.4	1.8	1	6
158	27.02.2013	04:09:26.8	53.16	107.94	9.5	2.4	1.2	6
159	27.02.2013	13:37:29.6	51.69	101.88	8.7	2.1	2.3	4
160	01.03.2013	02:52:57.2	51.49	107.45	9.1	2.3	5	4
161	01.03.2013	06:33:21.5	53.33	103.01	8.9	2.2	3.9	5
162	01.03.2013	23:43:57.0	53.28	107.87	10.3	2.9	3	6
163	02.03.2013	13:16:51.7	53.23	107.95	9.9	2.6	11	7
164	05.03.2013	03:54:25.2	53.41	107.98	10.5	3.2	2.1	4
165	05.03.2013	07:01:52.4	53.22	103.37	8.5	1.9	2.2	4
166	05.03.2013	13:59:45.7	56.3	112.37	9.8	2.7	5.6	8
167	06.03.2013	12:06:48.2	55.5	110.34	9	2.2	4.4	3
168	06.03.2013	20:09:42.4	55.26	112.31	9.2	2.6	5.6	3
169	07.03.2013	22:08:27.4	53.01	108.59	9.9	2.9	6.3	5
170	09.03.2013	03:52:32.6	55.75	110.16	8.1	1.7	6.8	6
171	10.03.2013	04:19:06.1	51.64	102.09	9.5	2.5	3.4	4
172	10.03.2013	10:13:47.3	54.66	110.09	9.6	2.5	3.2	3
173	10.03.2013	16:41:11.7	55.74	110.05	10.2	2.8	3.7	6
174	10.03.2013	17:24:48.3	55.78	110.13	8.1	1.7	3.3	7
175	10.03.2013	18:47:03.1	55.79	110.11	8.3	1.8	2.9	5
176	11.03.2013	16:32:43.4	55.78	110.16	8.7	2.1	3.3	5
177	15.03.2013	21:35:58.0	51.92	105.29	10.1	2.9	2.8	6
178	17.03.2013	02:09:25.1	53.44	108.28	9.3	2.4	3.3	6
179	17.03.2013	11:45:18.0	55.15	112.74	9.9	2.6	2.4	3
180	17.03.2013	12:38:36.0	56.57	110.54	9.1	2.2	5	5
181	18.03.2013	05:44:57.9	56.37	112.92	8.6	2.0	0.6	7
182	22.03.2013	11:05:26.9	55.36	109.3	11.9	3.8	1	7
183	27.03.2013	17:11:23.2	55.44	110.43	9.9	2.7	0.7	5
184	27.03.2013	23:13:21.1	51.53	101.78	9.5	2.5	2.1	5
185	28.03.2013	08:07:08.1	52.66	107.17	9.2	2.4	7.7	5
186	28.03.2013	10:01:01.2	56.01	113.51	11	3.3	1.2	3
187	30.03.2013	13:23:23.0	56.24	113.76	9.9	2.5	4.8	4
188	31.03.2013	18:25:11.0	51.78	101.28	8.3	1.8	3.8	4
189	03.04.2013	01:45:03.5	56.18	112.33	10.7	3.0	1.4	6
190	03.04.2013	17:16:34.1	53.54	108.08	9.6	2.6	3.9	5
191	04.04.2013	04:55:31.8	55.43	113.56	10.3	3.0	3	3
192	06.04.2013	08:52:23.4	55.44	110.47	9.1	2.1	3.4	5
193	10.04.2013	02:33:16.5	51.71	101.38	8.3	1.8	2.6	5
194	10.04.2013	04:58:47.6	52.4	106.76	9.6	2.6	9.3	6

Приложение 3

Сравнение основных параметров землетрясений, полученных в ручном и автоматическом режиме

В таблице ПЗ представлены основные параметры землетрясений, произошедших за период с 01.01.2012 по 10.04.2013 гг., полученные в ручном и автоматическом режиме: приведены данные из оперативного каталога Байкальского филиала ГС СО РАН и результаты автоматической обработки.

Оперативный каталог содержит информацию о землетрясениях с энергетическим классом $K_p \geq 9.5$, параметры землетрясений из оперативного каталога получены при непосредственном участии сотрудников сейсмостанций и Центра сбора информации.

Сравнение сделано для землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 9.5$, так как в оперативном каталоге содержатся информация о событиях, имеющих $K_p \geq 9.5$. В таблице ПЗ для каждого землетрясения представлена разность между определением географических координат по оперативному каталогу и автоматическим определением (d , км).

Таблица ПЗ. Основные параметры землетрясений, полученные в ручном и автоматическом режиме, за период с 01.01.2012 по 10.04.2013 г.

Дата, (число, месяц, год)	Результаты автоматической обработки				Результаты ручной обработки (оперативный каталог)				d , км
	Время, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	Время, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	
08.01.2012	05:16:08.0	52.93	100.15	10	05:16:09.6	52.81	100.24	10.0	14.67
09.01.2012	06:02:27.3	55.41	114.91	11	06:02:26.5	55.40	114.94	11.1	2.20
12.01.2012	04:45:26.4	51.74	106.19	12	04:45:25.3	51.75	106.18	11.6	1.31
19.01.2012	05:33:29.5	51.7	105.44	9.8	05:33:29.2	51.73	105.39	9.6	4.81
23.01.2012	13:44:31.0	55.9	114.2	11	13:44:29.8	55.85	114.28	11.1	7.49
31.01.2012	09:16:55.7	54.92	110.63	9.3	09:16:56.8	54.96	110.70	9.5	6.32
04.02.2012	05:18:06.6	53.24	108.11	11	05:18:06.0	53.21	108.12	10.5	3.41

Дата, (число, месяц, год)	Результаты автоматической обработки				Результаты ручной обработки (оперативный каталог)				<i>d</i> , км
	Время, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	Время, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	
06.02.2012	23:59:10.3	52.32	101.9	10	23:59:10.0	52.30	101.92	10.1	2.61
12.02.2012	22:35:43.6	56.08	114.5	11	22:35:42.8	56.06	114.51	10.8	2.31
15.02.2012	23:18:40.6	56.34	114.03	11	23:18:40.3	56.30	114.10	10.1	6.21
23.02.2012	17:16:20.6	55.55	110.48	10	17:16:19.1	55.48	110.46	10.2	7.90
27.02.2012	13:30:50.5	55.98	113.69	9.6	13:30:50.9	55.98	113.61	9.8	4.99
08.03.2012	11:22:35.5	56.21	112.25	11	11:21:35.0	56.22	112.11	10.6	8.76
15.03.2012	19:12:45.3	54.86	109.36	10	19:12:44.2	54.84	109.34	10.1	2.57
19.03.2012	10:14:13.7	55.96	113.84	11	10:14:15.6	56.00	113.66	10.7	12.09
23.03.2012	22:31:38.7	55.35	113.22	11	22:31:38.1	55.3	113.25	11.1	5.88
26.03.2012	03:19:17.6	53.67	108.55	11	03:19:17.4	53.64	108.58	10.3	3.88
27.03.2012	03:40:47.8	53.64	108.57	11	03:40:46.6	53.65	108.57	10.4	1.11
29.03.2012	19:39:21.5	54.44	110.17	9.2	19:39:20.8	54.49	110.14	9.5	5.90
07.04.2012	10:20:42.0	52.7	106.34	11	10:20:41.0	52.60	106.54	10.5	17.52
09.04.2012	10:15:14.8	52.86	107.08	9.8	10:15:14.0	52.73	107.18	9.6	15.96
12.04.2012	16:17:45.5	51.63	101.17	9.9	16:17:45.7	51.71	101.22	9.7	9.55
28.04.2012	21:04:19.0	51.76	100.26	9.7	21:04:20.4	51.93	100.48	9.6	24.24
05.05.2012	06:43:10.0	56.09	114.05	9.8	06:43:10.1	56.09	114.01	9.6	2.49
06.05.2012	22:21:48.4	55.52	110.48	9.3	22:21:47.9	55.53	110.49	9.8	1.28
07.05.2012	21:32:23.2	51.73	105.12	9.7	21:32:21.9	51.78	105.14	9.6	5.73
21.05.2012	04:05:59.2	52.6	106.85	9.9	04:05:58.6	52.55	106.90	9.8	6.52
30.05.2012	11:33:38.9	56.11	114.64	12	11:33:38.1	56.07	114.64	11.6	4.45
05.06.2012	22:53:50.1	52.2	105.95	9.5	22:53:51.3	52.29	105.83	9.6	12.94
14.06.2012	18:40:43.4	51.7	103.95	10	18:40:43.3	51.68	103.94	9.7	2.33
15.06.2012	11:46:21.9	55.51	110.34	12	11:46:21.6	55.47	110.46	11.6	8.80
15.06.2012	18:05:48.6	55.49	110.43	11	18:05:47.9	55.48	110.44	10.7	1.28
17.06.2012	05:51:49.3	54.8	111.97	10	05:51:49.4	54.80	111.95	9.8	1.29
30.06.2012	03:52:42.6	55.41	113.66	10	03:52:42.3	55.42	113.62	9.7	2.77
13.07.2012	11:34:32.8	52.72	106.84	10	11:34:33.1	52.75	106.76	9.9	6.35
16.07.2012	17:00:57.0	51.55	101.95	11	17:00:56.7	51.60	101.96	10.5	5.61
26.07.2012	21:00:11.3	52.24	105.9	9.4	21:00:10.9	52.26	105.86	9.5	3.52
28.07.2012	20:01:09.8	56.02	113.55	9.7	20:01:09.6	56.04	113.57	9.7	2.55
14.08.2012	18:57:13.5	51.48	104.14	11	18:57:12.9	51.44	104.19	10.3	5.65
19.08.2012	16:36:47.4	51.66	101.35	10	16:36:47.5	51.64	101.36	10.1	2.33
26.08.2012	10:43:54.2	51.74	104.59	11	10:43:53.2	51.73	104.58	10.7	1.31
12.09.2012	23:24:01.0	52.56	106.5	9.7	23:24:02.2	52.57	106.42	9.8	5.54
19.09.2012	17:21:53.9	52.29	100.57	10	17:21:53.5	52.28	100.58	10.1	1.31
01.10.2012	17:48:33.6	53.31	108.49	12	17:48:32.8	53.28	108.50	11.8	3.41
03.10.2012	00:47:20.3	53.29	108.54	11	00:47:19.7	53.28	108.51	10.4	2.29
05.10.2012	23:04:25.1	53.29	108.49	12	23:04:24.0	53.29	108.48	11.8	0.67
17.10.2012	20:04:28.6	56.24	113.91	10	20:04:27.8	56.21	113.95	9.6	4.16
18.10.2012	00:55:36.3	55.7	109.98	9.9	00:55:37.9	55.63	110.1	9.6	10.85

Дата, (число, месяц, год)	Результаты автоматической обработки				Результаты ручной обработки (оперативный каталог)				<i>d</i> , км
	Время, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	Время, (ч:мин:с)	φ , °с.ш.	λ , °в.д.	K_p	
20.10.2012	18:48:31.3	52.4	106.6	9.4	18:48:31.9	52.39	106.59	9.5	1.30
03.11.2012	12:33:05.2	55.2	111.25	10	12:33:06.3	55.30	111.29	9.7	11.42
08.11.2012	17:56:03.4	55.76	110.13	10	17:56:04.7	55.72	110.19	9.6	5.83
08.11.2012	18:31:32.1	55.8	110.07	11	18:31:33.3	55.73	110.21	10.5	11.75
16.11.2012	09:19:29.9	53.96	110.27	11	09:19:29.6	53.95	110.35	10.4	5.37
27.11.2012	21:32:03.4	56.36	112.7	11	21:32:02.6	56.3	112.73	11.2	6.93
28.11.2012	06:18:31.7	52	105.5	8.9	06:18:30.8	51.94	105.57	9.5	8.23
09.12.2012	08:48:43.1	53.34	108.44	11	08:48:51.9	53.26	108.51	11	10.05
19.12.2012	20:57:45.0	55.14	111.36	10	20:57:44.6	55.13	111.36	9.9	1.11
29.12.2012	00:07:32.4	52.05	105.72	10	00:07:32.5	52.04	105.76	10.2	2.96
04.01.2013	22:23:57.2	55.23	109.25	12	22:23:57.1	55.20	109.29	11.9	4.20
06.01.2013	07:20:35.1	55.26	109.24	10	07:20:34.1	55.26	109.20	9.9	2.54
06.01.2013	07:26:34.5	55.29	109.24	9.8	07:26:36.5	55.23	109.24	9.5	6.68
06.01.2013	11:32:41.1	55.27	109.18	10	11:32:40.8	55.24	109.28	10.0	7.18
07.01.2013	18:56:32.9	53.29	108.55	10	18:56:31.9	53.27	108.52	10.2	2.99
08.01.2013	11:51:56.9	51.83	105.14	11	11:51:56.2	51.85	105.15	11.1	2.33
21.01.2013	01:14:58.2	56.38	113.51	9.6	01:14:58.2	56.38	113.53	9.7	1.24
21.01.2013	14:55:06.7	52.95	103.06	9.4	14:55:09.0	52.87	102.92	9.5	12.96
25.01.2013	22:17:50.2	55.2	110.5	10	22:17:50.2	55.2	110.55	9.7	3.18
30.01.2013	16:27:42.4	56.07	113.99	9.6	16:27:42.3	56.07	113.94	9.7	3.11
02.02.2013	06:55:26.4	55.65	112.07	9.5	06:55:26.0	55.66	112.06	9.6	1.28
10.02.2013	21:10:51.4	52.14	106.35	9.2	21:10:50.7	52.13	106.38	9.5	2.34
14.02.2013	21:37:18.2	51.78	102.08	10	21:37:18.3	51.72	102.09	9.9	6.71
23.02.2013	14:16:35.3	55.81	110.04	9.5	14:16:36.7	55.76	110.2	9.6	11.48
27.02.2013	04:09:26.8	53.16	107.94	9.5	04:09:25.1	53.08	107.93	9.7	8.93
01.03.2013	23:43:57.0	53.28	107.87	10	23:43:55.7	53.08	108.14	10.4	28.66
02.03.2013	13:16:52.7	53.07	108.07	10	13:16:51.4	53.07	108.15	9.9	5.36
05.03.2013	03:54:25.2	53.41	107.98	11	03:54:23.3	53.41	107.95	10.3	2.00
05.03.2013	13:59:45.7	56.3	112.37	9.8	13:58:45.7	56.27	112.37	9.9	3.34
10.03.2013	04:19:06.1	51.64	102.09	9.5	04:19:04.9	51.7	102.1	9.6	6.71
10.03.2013	10:13:47.3	54.66	110.09	9.6	10:13:46.4	54.62	110.06	9.5	4.86
10.03.2013	16:41:11.7	55.74	110.05	10	16:41:13.9	55.74	110.21	9.9	10.05
15.03.2013	21:35:58.0	51.92	105.29	10	21:35:58.2	51.89	105.33	10	4.33
17.03.2013	11:45:18.0	55.15	112.74	9.9	11:45:18.4	55.17	112.65	9.7	6.15
22.03.2013	11:05:26.9	55.36	109.3	12	11:05:27.4	55.32	109.35	12.1	5.47
27.03.2013	23:13:21.1	51.53	101.78	9.5	23:13:20.9	51.61	101.83	9.6	9.55
28.03.2013	10:01:01.2	56.01	113.51	11	10:01:00.8	55.97	113.53	10.6	4.63
03.04.2013	01:45:03.5	56.18	112.33	11	01:45:03.4	56.15	112.32	10.3	3.40
03.04.2013	17:16:34.1	53.54	108.08	9.6	17:16:34.1	53.34	108.18	9.8	23.23
04.04.2013	04:55:31.8	55.43	113.56	10	04:55:30.8	55.36	113.61	10.2	8.41

