

На правах рукописи



Хритова Мария Анатольевна

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Иркутском национальном исследовательском техническом университете

Научный руководитель: **Бахвалов Сергей Владимирович,**
кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский национальный исследовательский технический университет

Официальные оппоненты: **Хайретдинов Марат Саматович,**
доктор технических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геофизической информатики

Алёшин Игорь Михайлович,
кандидат физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, заведующий лабораторией геоинформатики

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук

Защита состоится 21 января 2016 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д.002.001.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10. стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте института <http://www.ifz.ru/>. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при министерстве образования и науки Российской Федерации <http://vak.ed.gov.ru> и на сайте ИФЗ РАН.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в 2-х экземплярах направлять по адресу: 123242, Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр.1., ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета Владимиру Анатольевичу Камзолкину.

Автореферат разослан « » _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



В.А. Камзолкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 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, А. Д. Гвишиани 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.

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.

Задачи, выполненные 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.

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 – репозитория, 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 зарезании значений амплитуд у сейсмограмм; для локации эпицентра

землетрясения достаточно успешное детектирование вступлений волн Pg и Sg 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».

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.

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.

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 ИрНИТУ.

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

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

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы и излагаются основные результаты.

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. Рассматриваются действующие сейсмические сети (OBN, KORS, KRSC) используемые технологии и программное обеспечение (LISS, NRTS, Seiscomp3) для мониторинга землетрясений в режиме реального времени. Выполнен анализ универсальной модели информационных процессов мониторинга сейсмической активности, применяемой в большинстве международных 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. Таким образом, 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.

Новая функциональная модель мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, включает выполнение процессов (рис. 1): (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.

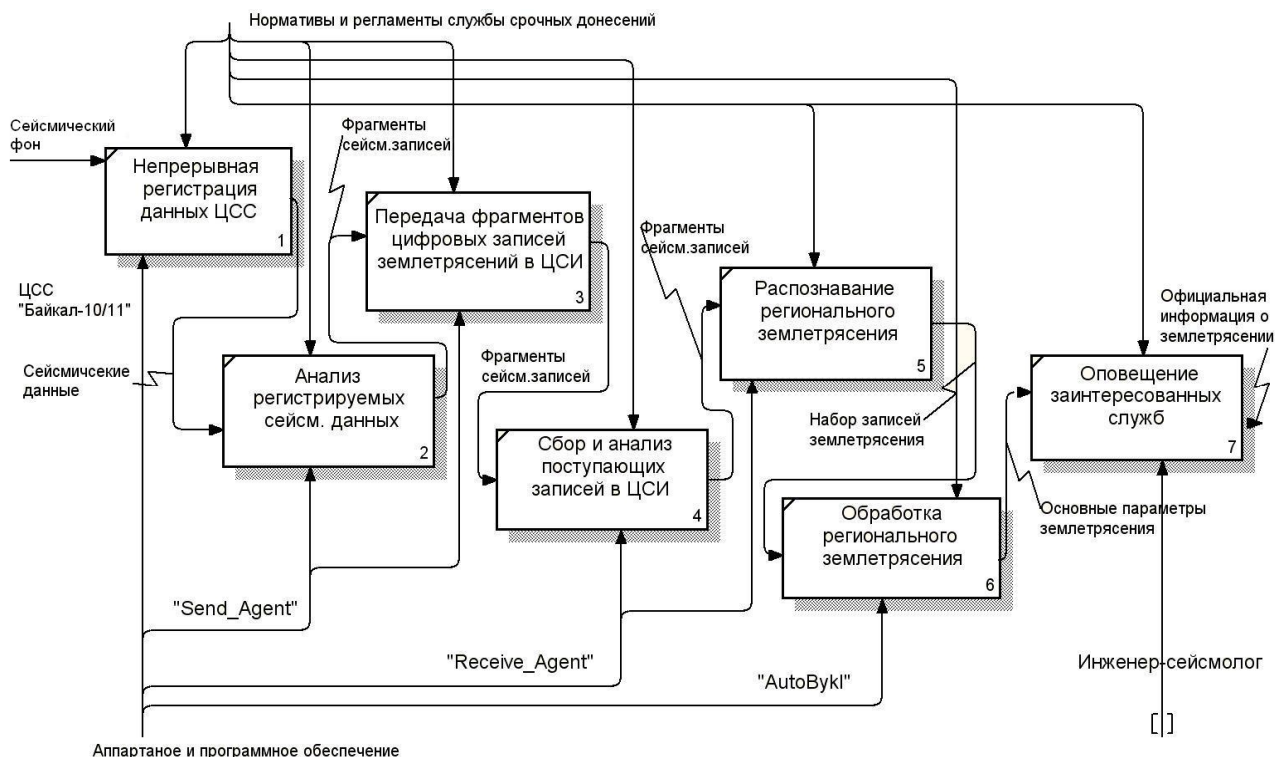


Рис. 1. Функциональная модель процесса – Мониторинг сейсмической активности Прибайкалья

На основании построенной функциональной модели разработана архитектура информационно-аналитической системы мониторинга сейсмичности (рис. 2).

Архитектура ИАС для мониторинга землетрясений состоит из четырех подсистем: подсистема передачи первичных материалов наблюдений с сети

станций в центр сбора (ЦСИ), подсистема регистрации и анализа, полученных в ЦСИ первичных материалов наблюдения, подсистема автоматической обработки региональных землетрясений и подсистема представления результатов мониторинга пользователям.

В заключение главы 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. Сформулированы основные функциональные требования для информационно-аналитической системы мониторинга.



Рис. 2. Архитектура информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений

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 хранению сейсмологической информации. Система хранения, методы обработки и анализа сейсмологических данных разрозненны, любая модернизация и сложные выборки требуют значительных затрат времени, усилий и знания логики хранения информации. Информационная разобщенность подразделений организации приводит к дублированию работ и данных, затрудняет обмен данными и доступ к ним, а также приводит к потере информации. 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.

Сформулированы основные требования к построению информационной инфраструктуры, предназначение которой заключается в комплексном информационно-аналитическом обеспечении деятельности Геофизической службы, 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.

На основании сформулированных требований предложен новый подход к построению информационной инфраструктуры Геофизической службы, в основе которой лежит создание единого информационного пространства – централизованного хранилища данных (репозитария), обеспечивающего эффективное выполнение основных функций организации и согласования полученных результатов.

Для построения модели метаданных информационной инфраструктуры используется построенная онтология (рис. 3).

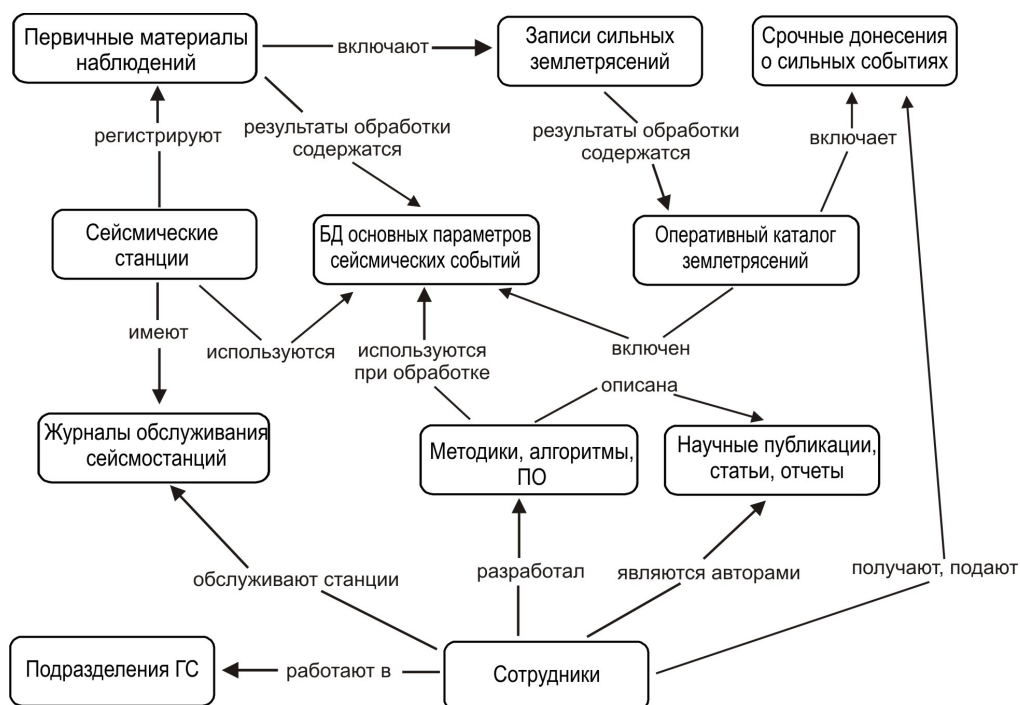


Рис. 3. Модель метаданных информационной инфраструктуры

Различные объекты информационной инфраструктуры на основе построенной онтологии описываются в виде метаданных; построение центрального информационного компонента, репозитария, осуществляется на базе технологии хранилищ данных; реализация репозитария выполняется на базе реляционной системы управления базами данных (СУБД); обмен с другими системами обеспечивается с помощью XML (расширяемый язык разметки). За основу модели данных репозитария решено взять универсальную модель предложенную А. Н. Копайгородским для информационной инфраструктуры исследований в энергетике, позволяющую отображать объекты и классы реального мира, а также связи между ними в виде двух уровней: 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.

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 (рис. 4).

Для организации информационного обеспечения сотрудников Геофизической службы данными, полученными в результате сейсмологических наблюдений или других исследований, необходима реализация программы извлечения данных, в основе которой лежит система запросов к хранилищу данных, и программы просмотра файлов документов.

Методика построения информационной инфраструктуры 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).



Рис. 4. 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 реального времени. 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.

В третьей главе представлена технология и ее программная реализация для автоматического сбора первичных материалов наблюдений с сети станций в режиме времени, близком к реальному.

Целью разработки данной технологии является необходимость своевременного получения в центре сбора исходных цифровых записей землетрясений, регистрируемых сейсмическими станциями, что позволяет проводить централизованную обработку всех зарегистрированных сейсмических записей в центре сбора.

Разработанная 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 центре сбора 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.

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.

Функции системы «Send_Agent»: постоянное слежение за регистрацией сейсмических записей; выбор волновых форм, превышающих заданный

критерий по амплитудам колебаний; сжатие сформированных файлов, содержащих фрагменты записей; подключение Интернет-соединения; передача данных на сервер центра сбора информации; разъединение Интернет-соединения.

Функции системы «Receive_Agent»: постоянное слежение за появлением на сервере файлов – сейсмических записей; сохранение записей на рабочей машине в центре сбора информации; классификация полученных волновых форм 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.

В программе «Receive_Agent» реализован разработанный оригинальный алгоритм распознавания сейсмического события по записи сейсмостанции и классификации его на региональное землетрясение, далекое землетрясение и помеху. В основе алгоритма предложена методика анализа графика огибающей и аппроксимирующей его функции для выбранного участка сейсмограммы, имеющего характерное затухание значений амплитуд. Предложенный алгоритм позволяет среди потока поступающих первичных материалов наблюдения идентифицировать записи региональных сейсмических событий, требующих срочной обработки для определения основных параметров землетрясений.

В четвертой главе представлена разработанная программа для автоматического определения основных параметров региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, реализующая новый алгоритм автоматической обработки цифровых сейсмограмм. Основной целью создания программы является сокращение времени определения основных параметров произошедших землетрясений.

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».

Первоочередной задачей в процессе обработки сейсмических сигналов является обнаружение самого сигнала – определение моментов вступления прямых сейсмических волн Pg и Sg. 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). Действующая схема расположения сейсмостанций и оснащенность их средствами связи с Интернет позволяют охватить большую часть Байкальской рифтовой зоны, где возможна автоматическая локация эпицентров землетрясений.

Проведенный анализ и тестирование различных методик детектирования сейсмического сигнала показало целесообразность использования простого детектора *STA/LTA*, основанного на анализе отношения амплитуд в коротком и длинном временных окнах, для определения моментов вступления прямых сейсмических волн Pg и Sg по записям региональных землетрясений короткопериодных сейсмических станций. В случае превышения порогового значения *STA/LTA* (от 5 до 3, в зависимости от зашумленности записей) событие считается обнаруженным. Для локации эпицентра землетрясения

достаточно успешное детектирование вступлений волн Pg и Sg на записях трех сейсмостанций.

Определение основных параметров землетрясений проводится с помощью алгоритма «Региональная зона» (автор С. И. Голенецкий), минимизирующей сумму квадратов невязок моментов вступлений сейсмических волн. В качестве исходных данных в расчетах служат координаты сейсмических станций, моменты вступлений сейсмических волн на эти станции (t_{Pg} , t_{Sg}) и соответствующие максимальные амплитуды. Рассчитываются координаты очага, время в очаге землетрясения, невязки для всех задаваемых волн, энергетический класс землетрясения; вычисляются 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, принимаемая 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 Р-волн в земной коре по данным ГСЗ); d_i – эпицентральный 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.

Использование традиционного для Прибайкалья алгоритма расчета эпицентра землетрясения позволяет сохранять однородность получаемых результатов с предшествующими многолетними каталогами сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья.

Автором предложен алгоритм поэтапного обнаружения времен вступлений сейсмических волн Pg и Sg по набору записей, проверки истинности найденных фаз и расчета основных параметров землетрясения (географических координат, времени возникновения, величины энергетического класса и магнитуды). Помимо этого предусмотрена возможность проведения обработки по акселерограммам при зарезании значений амплитуд у сейсмограмм.

На основании разработанного метода создана компьютерная программа «AutoBykl». Программа автоматической обработки землетрясений выполняет следующие функции: определение основных параметров землетрясения, предоставление полученных результатов на каждом этапе функционирования программы в визуальной форме: построение карты с эпицентром землетрясения, вывод протокола обработки землетрясения.

В заключение главы рассматриваются возможности применения разработанной информационно-аналитической системы для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья. Представлены результаты мониторинга сейсмичности с помощью разработанной системы.

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. Точность определения основных параметров землетрясения зависит от количества участвующих в обработке станций и расположения их относительно эпицентра.

Кроме землетрясений с энергетическим классом $K_p \geq 9.5$, составляющих оперативный каталог за рассматриваемый 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 автоматическом мониторинге в рассматриваемом регионе с помощью разработанного программного обеспечения не были выявлены.

Представленная информационно-аналитическая система позволяет в течение 3–7 минут с момента землетрясения получать основные параметры произошедшего события: время в очаге, географические координаты, сила события – энергетический класс и магнитуда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 Pg и Sg по записям трехкомпонентных сейсмостанций региональной сети (программа «AutoBykl»).

5. Проведена апробация разработанной информационно-аналитической системы для мониторинга сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК для предоставления основных научных результатов диссертации

1. **Хритова, М. А.** Автоматическая обработка региональных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья / М. А. Хритова, Н. А. Гилёва // Сейсмические приборы. – 2012. – Т.48. – №2. – С. 15–27.
2. Бахвалов, С. В. Концепция информационной инфраструктуры Геофизической службы / С. В. Бахвалов, **М. А. Хритова** // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 2 (73). – С. 21–25.
3. **Хритова, М. А.** Информационная система мониторинга сейсмичности Прибайкалья в режиме реального времени / М. А. Хритова, Н. А. Гилёва // Геоинформатика. – 2013. – №3. – С. 8–20.
4. 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.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

5. Хритова М. А. «Программный комплекс для сбора первичных материалов наблюдений с сети сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья «SendAgent & ReceiveAgent»» // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014614467 от 24.04.2014.

Материалы и тезисы докладов конференций

6. 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. Гилёва // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических

данных / Материалы Пятой Международной сейсмологической школы (Владикавказ). – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 243–246.

7. 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.
8. Хритова, М. А. Комплекс программ для оперативного мониторинга сейсмичности Прибайкалья / М. А. Хритова // Строение литосферы и геодинамика / Материалы 24 Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2011. – С. 217–218.
9. Хритова, М. А. Оперативный мониторинг землетрясений Прибайкалья средствами разработанного программного обеспечения / М. А. Хритова, Н. А. Гилёва // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Шестой Международной сейсмологической школы (Апатиты). – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 359–364.
10. 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.
11. 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. – M.: PH “Poligrafikwik”, 2012. P. 272.
12. Хритова, М. А. Система сбора макросейсмических данных об ощутимых землетрясениях в регионе Прибайкалья и Забайкалья / М. А. Хритова, Н. А. Гилёва, Я. Б. Радзиминович // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Седьмой

Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 336–341.

13. Хритова, М. А. Мониторинг сейсмичности Прибайкалья в режиме реального времени / М. А. Хритова // Строение литосферы и геодинамика / Материалы 25 Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. – С. 157–158.
14. 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.
15. 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 минералогия Северо-Восточной Азии. Материалы Четвертой Всероссийской научно-практической конференции. – Улан-Удэ: ГИН СО РАН, 2013. – С. 279–282.

Подписано в печать 20.11.2015
Объем: 1,0 усл. печ. л.
Тираж: 100 шт.
Отпечатано в типографии ИГУ,
664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 36