

УДК 550.34

## НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АКТИВНОГО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В.*

*Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН,  
Новосибирск, ludmila@opg.sccc.ru*

### **Введение**

Активная сейсмология — направление в геофизике, в котором для изучения строения земной коры и исследования геодинамических процессов в зонах землетрясений и вулканов используются управляемые источники сейсмических волн — взрывные, гидромеханические и электромагнитные импульсные источники, мощные сейсмические вибраторы [1]. Возможность изучения глубинных исследований недр Земли с помощью мощных вибрационных источников была теоретически обоснована и практически реализована в 1970-х–80-х годах. Вибросейсмические методы исследований имеют важные преимущества по сравнению с методами пассивной сейсмологии: точно известное место и время действия источника, излучение сейсмического импульса заранее заданной формы, управление экспериментом на компьютерной основе, повсеместность применения и экологическая безопасность. Вибросейсмические исследования являются наукоемкой деятельностью, в которую входят:

- разработка аппаратных средств и программно-математического обеспечения управления техническими комплексами излучения и регистрации вибрационных сигналов;
- разработка теоретических основ метода, в том числе обратные задачи теории распространения упругих волн, прямые задачи моделирования волновых сейсмических процессов, разработка теории многодисциплинарного вибросейсмического мониторинга и др.;
- экспериментальные полевые исследования по регистрации волнового поля от мощных источников на значительных, несколько сотен километров, удалениях;
- разработка алгоритмов и программ для обработки экспериментальных данных;
- численное моделирование полных волновых полей в сложнопостроенной среде с применением суперкомпьютеров;
- разработка инженерно-сейсмологических технологий исследования зданий и крупных промышленных сооружений;

Академиками СО РАН Алексеевым А.С. [5], Гольдиным С.В. [3] была предложена концепция подхода к решению проблем прогноза землетрясений и организации многодисциплинарного мониторинга сейсмоопасных регионов с применением вибросейсмических технологий. Данная концепция основывается на комплексировании различных видов информации, полученной в результате многолетних геофизических экспериментальных работ, охватывающих значительные площади либо длинные профили наблюдений. В концепции мониторинговых наблюдений упор делается на поиск комплексов многодисциплинарных предвестников, что подразумевает создание пунктов наблюдения с целью выявления и отслеживания ряда физических параметров литосферы и подземной гидросферы. Изменение вариаций характеристик сейсмического волнового поля предполагается отслеживать в результате просвечивания очаговых зон 100-тонным сейсмическим вибратором.

Уникальный по мощности вибрационный источник, позволяющий получать сейсмограммы высокого качества на удалениях до 400 км, смонтирован на берегу Байкала, вблизи поселка Бабушкин. Географическое положение вибратора и сети сейсмологических станций позволяет исследовать как минимум три очаговые зоны, представляющие опасность для таких городов, как Улан-Удэ, Иркутск, Ангарск. Вибратор обладает прецизионной точностью и стабильностью по частоте, фазе и амплитуде излучения от сеанса к сеансу. Большая мощность источника позволяет в качестве приемников колебаний использовать сеть цифровых сейсмологических станций, размещенных вокруг южной части озера Байкал. Корреляционной обработкой из цифровых записей на уровне шумов во время работы накапливаются сейсмограммы, аналогичные действию взрыва или землетрясения. Теоретически обосновано, что высокая стабильность систем излучения и регистрации

позволяет фиксировать изменения внутри выявленных очаговых зон: скорости пробега волн, изменения частот, фаз колебаний и т.д.

Кроме регистрации зондирующих сигналов 100-тонного сейсмического вибратора сетью сейсмостанций, проведены многочисленные эксперименты по вибросейсмическому мониторингу с использованием профильных и площадных систем наблюдения.

В сети Интернет представлен большой объем знаний и информационных ресурсов по различным видам геофизического мониторинга, в том числе и касающихся вибросейсмических методов. Однако доступ к этим ресурсам значительно ограничен из-за того, что они слабо структурированы, недостаточно систематизированы и к тому же рассредоточены по всевозможным интернет-сайтам, библиотекам и архивам. Авторы статьи считают, что организация эффективного доступа к экспериментальным данным, полученным в ходе вибросейсмического мониторинга, их вычислительному анализу, а также к результатам численного моделирования вибросейсмического волнового поля значительно повысит эффективность работы ученых, использующих результаты исследований активной сейсмологии для интерпретации данных, полученных в других областях геофизики. Не менее важным является систематизация и интеграция информационных ресурсов, отражающих методы и результаты всех методов геофизического мониторинга сейсмоактивных зон.

При множестве неоднородных источников данных встает задача организации инфраструктуры, позволяющей не просто накапливать информацию для ее повторного использования в различных исследованиях, но и способной систематизировать знания и данные предметной области, обеспечивать содержательный доступ и предварительный анализ данных. В данной работе предложен подход к организации научной инфраструктуры, для хранения, представления, формализации и систематизации информации, а также для обеспечения высокой скорости доступа и анализа числовых данных. Предлагаемая авторами инфраструктура построена путем комбинирования онтологии предметной области для интеграции разнородных информационных ресурсов без их физического слияния и реляционной базы данных, которая обеспечивают эффективное хранение и обработку структурированных данных.

### **Принципы интеграции знаний и данных**

На сегодняшний день нет строгого определения данных, метаданных, информации и знаний. В представленной концепции научной информационной системы данными мы считаем записи сигналов, полученных в ходе полевых и вычислительных экспериментов и представленные файлами, составляющими дерево каталогов. Метаданные — описание экспериментов (тип сейсмического источника, параметры излучаемого им сигнала, параметры регистратора, географические координаты источника и регистратора и т.д.), представленное реляционными базами данных. При этом следует сказать, что описание данных сводится к некоторому ограниченному набору параметров. В нашем случае, это 18 параметров: Тип источника, Номер источника, Номер эксперимента и т.п. Реляционная система управления базой данных обеспечивает высокую производительность выполнения запроса на доступ и анализ экспериментальных данных [2].

К информационным объектам мы относим отдельные сайты, публикации, справочную информацию и т.д., размещенные в сети Интернет.

К знаниям о предметной области мы относим совокупность сведений об объектах этой предметной области, их существенных свойствах и связывающих их отношениях. В настоящее время стало распространенной практикой описывать предметные области с помощью онтологических моделей. Основная цель создания онтологий заключается в обеспечении поддержки деятельности по накоплению, совместному и повторному использованию знаний. Впервые термин «онтология» в инженерии знаний ввел Томас Грубер [6]. Согласно его определению, онтология является явной спецификацией концептуализации. Под концептуализацией здесь понимается упрощенное описание некоторой части реальности, построенное для какой-либо определенной цели. На формальном уровне, онтология представляет собой систему, состоящую из набора понятий и набора утверждений об этих понятиях, на основе которых можно понятия объединять в классы и строить между ними отношения.

Онтологии используются при разработке систем основанных на знаниях. Для интеграции знаний и данных по активному сейсмологическому мониторингу нами был построен Портал знаний в технологии, разработанной в лаборатории искусственного интеллекта ИСИ СО РАН [4].

В структуру технологии построения порталов знаний входят редакторы данных, онтологий и отношений. С помощью редактора онтологий создается формальная спецификация онтологии, включающая: иерархии понятий; множество заданных на понятиях отношений; множество

атрибутов, описывающих свойства понятий и отношений; множество ограничений и аксиом, описывающих свойства классов и отношений.

Вводя формальные описания понятий в виде классов объектов и отношений между ними, онтология портала задает структуры для представления реальных данных и связей между ними. Информационный объект Портала представляют собой формализованное описание некоторого объекта предметной области. Вся информация о конкретном объекте и его связях отображается на странице Портала.

### Свойства объекта

<b>Рифтовые зоны</b>	
<b>Название объекта</b>	Байкальская рифтовая зона (БРЗ)
<b>Описание объекта</b>	Общее описание <a href="http://www.geologam.ru/geology/earth/chto-takoe-baykalskiy-rift">http://www.geologam.ru/geology/earth/chto-takoe-baykalskiy-rift</a>

### Связи объекта

	включает <b>Объект</b>
<b>Объект</b> Исследования	
<b>Разломы</b>	
	имеет <b>Аспект</b>
<b>Предмет</b> Исследования	
<b>Вариации параметров вибросейсмического поля</b>	
<b>Вариации параметров поля эманации радона</b>	
<b>Сейсмическая активность</b>	
<b>Фиксирование разломов</b>	

### Обратные связи объекта

	описывает <b>Объект</b>
<b>Публикация</b>	
<b>Н. Thybo (Lower crustal intrusions beneath the southern Baikal Rift Zone: Evidence from full-waveform modelling of wide-angle seismic data)</b>	
<b>Бобров (А.А.) (RADON EMANATION FIELD AND EARTHQUAKES IN BAIKAL REGION: FIRST EXPERIENCE IN INFORMATION ENTROPY APPLICAT</b>	
<b>Соловьев (В.М.) (SPECIFIC VELOCITY STRUCTURE OF THE UPPER MANTLE IN THE TRANSBAIKALIA SEGMENT OF THE MONGOLIA-OKHOTSK ORO</b>	
<b>Бобров (А.А.), Семинский (К.Ж.) (THE FIRST RESULTS OF STUDIES OF TEMPORARY VARIATIONS IN SOILRADON ACTIVITY OF FAULTS IN WEST</b>	
<b>Караваяв (Д.А.), Ковалевский (В.В.), Фатьянов (А.Г.) (ВЕРИФИКАЦИЯ СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА, I</b>	
<b>PASSCAL)</b>	
<b>(Всего: 13)</b>	
	применяется <b>К</b> Классу <b>Объектов</b>
<b>Методы и средства исследования</b>	
<b>Геолого-геофизические методы</b>	
	применяется <b>К</b> <b>Объекту</b>
<b>Методы и средства исследования</b>	
<b>Вибропросвечивание</b>	
<b>Мониторинг радоновой активности</b>	
	является <b>Результатом</b>
<b>Научный Результат_Продукт</b>	
<b>111 Эксперимент «Профиль Байкал-Улан-Батор»</b>	
<b>111- данные эксперимента №111(визуализация, анализ)</b>	
<b>Анализ результатов инструментальных наблюдений радоновой активности. Корреляция вариаций параметров поля эманации радона со сл</b>	
<b>Волновое поле профиля Улан-Удэ-Улан-Батор</b>	
<b>Корреляция землетрясений БРЗ с вариациями параметров эманации радона</b>	
<b>(Всего: 7)</b>	
	является <b>Ресурсом</b> <b>Объекта</b>
<b>Интернет Ресурс</b>	
<b>Активные разломы и сейсмичность юга Восточной Сибири (содержит карты разломов)</b>	
<b>Батиметрические карты озера Байкал</b>	
<b>Информационно-аналитическая среда для поддержки научных исследований в геологии</b>	
<b>Информационно-вычислительная система «Вибросейсмическое просвечивание Земли»</b>	
<b>Сайт Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Каталог землетрясений</b>	

Рис.1. Страница Портала

На рис. 1 представлена с страница Портала, содержащая описание объекта «Байкальская рифтовая зона (БРЗ)», относящегося к подклассу «Рифты» класса «Объекты исследований». Все объекты, связанные с «БРЗ», представляются на его странице в виде гиперссылок, по которым можно перейти к их детальному описанию. По ссылке «Информационно-вычислительная система

«Вибрационное просвечивание Земли» пользователи получают доступ к экспериментальным данным по вибропросвечиванию и средствам их вычислительного анализа. На рис.2 приведен пример пользовательского запроса к и результат выполнения.

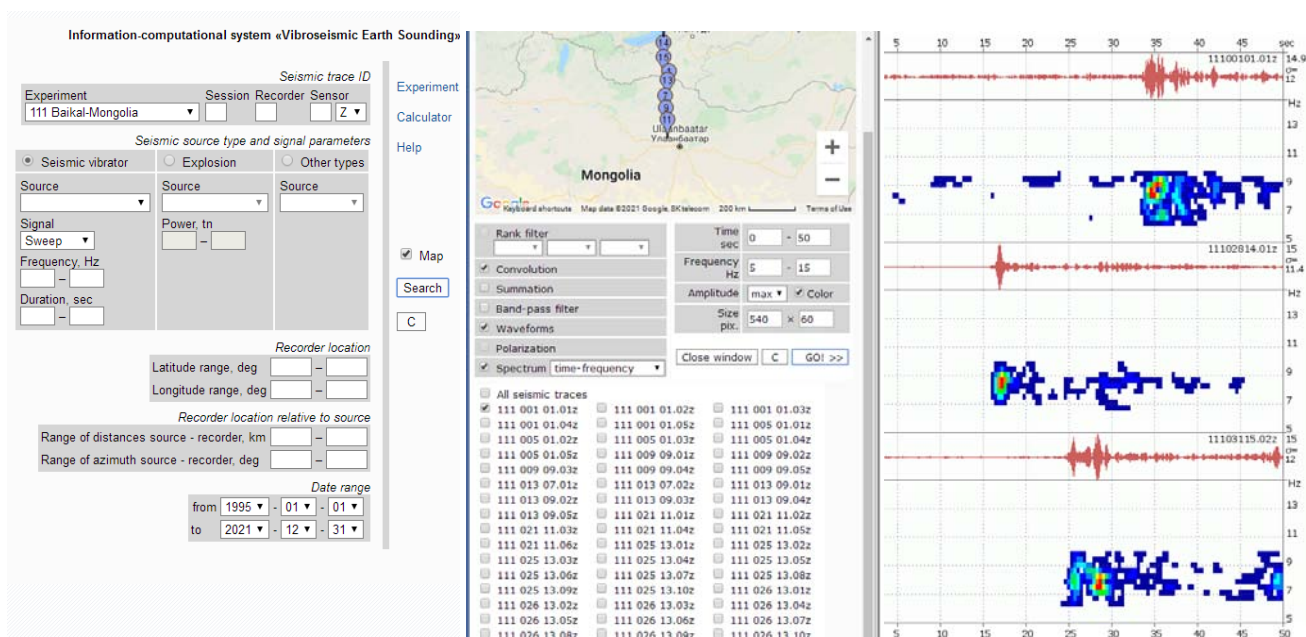


Рис.2. Страница пользовательского запроса к ИВС «Вибрационное просвечивание Земли» и результат выполнения.

## Заключение

Разработанная научная система по активному сейсмологическому мониторингу обеспечивает интеграцию тематических информационных ресурсов и содержательный доступ к результатам полевых и вычислительных экспериментов по активному вибросейсмическому мониторингу, интерактивный анализ данных, автоматическое построение интерактивных карт районов полевых работ. Взаимосвязь между деятельностью исследователей, результатами этой деятельности, персонами и организациями, осуществляющими исследования в области активной сейсмологии, обеспечивает Портал знаний, ядром которого является онтология, построенная группой экспертов, работающих в различных направлениях активной сейсмологии. На основе онтологии организуется удобная навигация по научным знаниям, а также содержательный поиск данных и средств их анализа. Интернет-ресурс доступен по адресу <http://opg.sccc.ru/>.

## Список литературы

1. Алексеев А.С., Геца Н.И., Глинский Б.М. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. Новосибирск: Филиал «Гео» Издательства СО РАН. 2004. 387 с.
2. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В. Научная информационная система «Активная сейсмология» для комплексных геофизических исследований // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2015. № 1. Выпуск № 25. С. 94–98.
3. Гольдин С.В. Принципы мониторинга сейсмоактивных областей. // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: материалы 2-го международного симпозиума 12-16 сент. 2005г. Академгородок, Новосибирск. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2005. С.9–11.
4. Загоруйко Ю.А., Боровикова О.И. Информационная модель портала научных знаний // Информационные технологии. 2009. № 12. С.2–7.
5. Alekseev, A.S., Chichinin, I.S., Korneev, V.A., 2005. Powerful low-frequency vibrators for active seismology. Bulletin of the Seismological Society of America 95. 1–17.
6. Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // International Journal of Human-Computer Studies. November.1995. Vol. 43. Issues 5–6. P. 907–928.