

# Информационная поддержка вибросейсмических исследований

Брагинская Л.П.<sup>1</sup>, Григорюк А.П.<sup>1</sup>, Ковалевский В.В.<sup>1</sup>, Загорулько Г.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, пр. ак. Лаврентьева, д. 6, г. Новосибирск, 630090, Россия*

<sup>2</sup> *Институт систем информатики имени А.П. Еришова СО РАН, пр. ак. Лаврентьева, д. 6, г. Новосибирск, 630090, Россия.*

ludmila@opg.sccc.ru, ludmila@opg.sccc.ru, kovalevsky@sccc.ru, gal@iis.nsk.su

***Аннотация.** В работе рассмотрены принципы организации веб-ресурса для поддержки исследований в одном из новых направлений в геофизике, в котором для изучения строения земной коры и исследования геодинамических процессов в зонах землетрясений и вулканов используются управляемые источники сейсмических волн - мощные сейсмические вибраторы. Архитектуру ресурса можно представить в виде двух взаимодействующих подсистем. Первая из них - Научная информационная система (НИС) «Активная сейсмология» - обеспечивает доступ пользователей к данным, полученным в ходе полевых и вычислительных экспериментов по вибросейсмическому мониторингу, а также включает в себя пополняемую пользователями тематическую электронную библиотеку, содержащую тезисы и полные тексты статей. Вторая - Портал знаний по активной сейсмологии предназначен как для систематизации данной предметной области в целом, так и разнородных данных и средств их обработки, представленных в НИС. Концептуальным базисом информационной модели портала знаний является онтология предметной области.*

## 1 Введение

В настоящее время всякая научно-исследовательская деятельность, в которой используются высокоточные инструменты и высокопроизводительные вычислительные кластеры, порождает все большие объемы информации. Результативность научной деятельности начинает все больше зависеть от эффективного доступа к общим цифровым научным ресурсам и к современным информационным инструментам, которые позволяют осуществлять хранение, поиск, визуализацию и высокий уровень анализа данных [1].

Цифровые данные, которые являются результатом наблюдений или вычислительных экспериментов в одной науке, и представленные в виде баз данных, электронных коллекций, многомерных цифровых массивов и т.д., могут быть объектом исследования в других дисциплинах. Пополнение архивов данных более свежими может качественно изменить структуру объекта научного исследования, а применение современных методик анализа к «старым данным» может существенно повысить достоверность результатов исследований.

В процессе научной деятельности у исследователей возникает необходимость не только в повторном использовании экспериментальных и вычислительных данных, методологии и технологии обработки и анализа, но и в эффективном доступе к публикациям, в установлении горизонтальных и вертикальных связей между научными коллективами, организации службы уведомления.

В статье рассмотрена организация интернет-ресурса для информационной поддержки научных вибросейсмических исследований, которые, начиная с 70-х лет прошлого века,

активно развиваются многими институтами СО РАН. Интернет-ресурс решает задачу интеграции тематических информационных и вычислительных ресурсов. Архитектуру ресурса можно представить в виде двух взаимодействующих подсистем. Первая из них - Научная информационная система (НИС) «Активная сейсмология» обеспечивает доступ пользователей к данным, полученным в ходе полевых и вычислительных экспериментов по вибросейсмическому мониторингу, а также включает в себя пополняемую пользователями тематическую электронную библиотеку, содержащую тезисы и полные тексты статей. Целостное представление предметной области и научной деятельности обеспечивает вторая подсистема - портал знаний, информационным ядром которого является разработанная авторами онтология.

## **2 Предметная область «Активная сейсмология» и ее онтология**

Вибросейсмические исследования относятся к новому направлению в геофизике - активной сейсмологии. Это направление использует в качестве инструмента изучения строения земной коры и исследования геодинамических процессов управляемые источники сейсмических волн - взрывные источники, мощные сейсмические вибраторы, гидромеханические и электромагнитные импульсные источники [2].

Возможность изучения глубинных недр Земли и геодинамических процессов в земной коре с помощью мощных вибрационных источников была теоретически обоснована и практически реализована в 1970 – 80 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.

В процессе вибросейсмических исследований определились основные фундаментальные и прикладные задачи, которые решаются методами активной сейсмологии с мощными вибрационными источниками. Использование мощных вибрационных источников низкочастотного диапазона дает возможность проведения исследований глубинного строения земной коры и верхней мантии; изучения геодинамических процессов в сейсмоопасных и вулканических зонах и проведение активного вибросейсмического мониторинга; исследования взаимосвязи волновых полей, генерируемых вибраторами и физических эффектов, возникающих при вибрационном воздействии на геологическую среду, а также практического применения в прикладных областях. Практическое использование методов активной сейсмологии в новых областях геофизических и инженерных исследований было осуществлено при создании новых геотехнологий с использованием мощных вибрационных сейсмических источников [2].

При изучении глубинного строения Земли наибольший объем экспериментальных исследований с мощными вибраторами был выполнен в Алтае-Саянском и Охотско-Чукотском регионах, в районе оз. Байкал с общей протяженностью профилей вибро-ГСЗ более 2000 км. В европейской части России методом вибро-ГСЗ был отработан профиль «Уралсейс» протяженностью 500 км. На Быстровском, Южнобайкальском и Краснодарском вибросейсмических полигонах проводятся работы по методике вибросейсмического мониторинга и изучения геодинамических процессов [3].

В южном Прибайкалье работает система вибросейсмического мониторинга южной части Байкальской рифтовой зоны, являющейся сейсмоопасной зоной с высокой сейсмичностью. В состав системы мониторинга входит сейсмический вибратор ЦВО-100 Южнобайкальского геодинамического полигона СО РАН и сейсмические станции региональной сети. С этим же источником выполнен уникальный эксперимент по вибросейсмическому глубинному сейсмическому зондированию на 500-км профиле Бабушкин, Бакал – Улан-Батор, Монголия. Полученные в этом эксперименте данные являются экспериментальной основой для верификации скоростных моделей земной коры, построенных для этого региона при проведении глубинного сейсмического зондирования с использованием взрывов и обработки данных землетрясений по обменным волнам [4].

При этом следует признать, что в экспериментах в России и за рубежом по-прежнему не обнаружены аномалии характеристик сейсмических волн, имеющих четко выраженную тектоническую природу [5]. Многие эксперты, в частности, связывают это с тем, что системы мониторинга часто просто накапливают огромные массивы экспериментальных данных,

которые не доступны широкому кругу исследователей. Обнаружение отклонений от многолетних трендов в геофизических полях, которые могут являться пороговыми индикаторами возникновения катастрофических землетрясений, возможно только при анализе длительных (многолетних) рядов данных. В связи с этим представляется весьма актуальной задача накопления и предоставления в сети интернет результатов полевых экспериментальных работ по вибросейсмическому мониторингу сейсмоопасных зон. Эти результаты, представленные в виде баз данных, электронных коллекций, многомерных цифровых массивов и т.д., могут быть предметом исследования в других дисциплинах. Пополнение архивов более свежими данными может качественно изменить структуру объекта научного исследования, а применение современных методик анализа к «старым данным» может существенно повысить достоверность результатов исследований.

В настоящее время интенсивное накопление информации идет по всем составляющим метода активной сейсмологии. Это связано и с тем, что современные высокоточные научные инструменты, применяемые при проведении натуральных экспериментов, порождают все большие объемы данных, и с тем, что постоянно возрастают объемы синтетических данных — результатов высокопроизводительных вычислений. Однако результаты этих исследований представлены в сети Интернет фрагментарно, на различных сайтах институтов, конференций, в электронных библиотеках и т.д.

В процессе научной деятельности у исследователей возникает необходимость не только в повторном использовании экспериментальных и вычислительных данных, методологии и технологии обработки и анализа, но и в эффективном доступе к публикациям, в установлении горизонтальных и вертикальных связей между научными коллективами, организации службы уведомления.

Экспериментальные данные активного вибросейсмического мониторинга имеют пространственную привязку (координаты источников и приемников сейсмических сигналов). Весьма актуален для исследователей интерактивный картографический сервис, обеспечивающий визуализацию географической информации. Применение геoinформационных технологий в совокупности с инструментальными средствами анализа обеспечивает качественно новые возможности интерпретации данных. Очень важен картографический сервис для планирования маршрутов экспериментальных работ, при котором существует необходимость наиболее полной информации о местности и о характеристиках прохождения сейсмических сигналов.

В активной сейсмологии, как и во многих других научных направлениях институтов Академии наук РФ, существует проблема сохранения уникальных знаний ученых старшего поколения. Значительная часть научных публикаций, касающаяся теоретических вопросов вибросейсмического метода, создания управляемых источников и т.п. не оцифрована. Результаты исследований, представленные в сети Интернет, размещены на различных сайтах институтов, конференций, в электронных библиотеках и т.д.

Основу системы знаний [6] составляет онтология и соотнесенное с ней описание соответствующих сетевых ресурсов. Под онтологией здесь будет пониматься точное подробное описание (модель) некоторой части мира применительно к конкретной области интересов. В нашем случае онтология должна представлять собой описание активной сейсмологии, как научного раздела геофизики, и описание научной деятельности, связанной с этой дисциплиной.

Согласно методике [7], разработанной в Лаборатории искусственного интеллекта ИСИ СО РАН онтология активной сейсмологии строится на основе двух базовых онтологий — онтологии научной деятельности и онтологии научного знания.

Онтология научной деятельности включает набор концептов (понятий, классов), относящихся к организации научной и деятельности в области активной сейсмологии, таких как Персона, Организация, Событие, Деятельность, Публикация. Данный набор концептов используется для описания участников научной деятельности, мероприятий, проектов, различного типа публикаций. Специфическими классами онтологии научной деятельности в активной сейсмологии являются «Экспедиционные работы», «Полевые эксперименты». Кроме набора концептов онтологию составляет набор бинарных связей (отношений) между концептами и набор экземпляров классов — записей данных, соответствующих классу или отношению. Так, к примеру, классу «Экспедиционные работы» будет соответствовать экземпляр «Комплексная эколого-геофизическая экспедиция-2005», классу «Полевые эксперименты» — «Вибрационное зондирование грязевого вулкана Шуго», классу Персоны — «Хайретдинов Марат Саматович». К экземплярам класса «Информационные системы»

относятся тематические информационные и вычислительные интернет-ресурсы, в том числе вычислительные системы, базы данных, электронная библиотека, являющиеся структурными элементами научной информационной системы «Активная сейсмология»[8].

Вторая базовая онтология – онтология научного знания задает метапонятия для описания понятий областей знаний в активной сейсмологии.

Важным моментом при разработке онтологии предметной области является построение иерархий понятий. Разработанная нами онтология предметной области по активной сейсмологии включает пять базовых иерархий: иерархию разделов науки, иерархию объектов, иерархию предметов исследования, иерархию методов исследования и иерархию научных результатов.

Кроме перечисленных выше иерархий классов, построенных на основе метапонятий онтологии научного знания, онтология предметной области была расширена иерархией классов «Средства», в которую входят классы понятий «Источник» и класс «Сенсор». Класс «Источник» содержит три подкласса. Подкласс «Вибросейсмический источник» задает технические характеристики и местоположение сейсмодатчика (генератора сейсмических волн). Подкласс «Сейсмический шум» используется для описания экспериментальных работ по регистрации естественных сейсмических шумов. Введение этого класса обусловлено тем, что в последние годы к методам активной сейсмологии относят экспериментальные работы, в которых регистрируется сейсмическое поле неуправляемых природных источников по технологии, определенной конкретной задачей геофизики, например сейсмодатчик томография вулканических структур с использованием сейсмического шума из активной области вулкана. Подкласс «Взрыв» описывает параметры промышленных взрывов, записанных в ходе экспериментальных работ. Экспериментальные работы по регистрации промышленных взрывов проводятся в рамках проекта по вибросейсмическим методам оценивания экологических рисков от промышленных взрывов [9].

Под научным результатом в данной онтологии понимаются экспериментальные и теоретические данные по активной сейсмологии, а также результаты анализа этих данных. Помимо отношений типа «класс-подкласс» понятия онтологии могут быть связаны между собой ассоциативными отношениями. Наиболее важными ассоциативными отношениями между понятиями онтологии научной деятельности и онтологии научного знания являются следующие отношения: «исследует» - сопоставляет научную деятельность или раздел науки с объектом исследования; «использует» - связывает метод исследования с видом деятельности, исследователем или разделом науки; «применяется к» – связывает метод исследования с объектом исследования; «описывает» – задает связь публикации с научным результатом, объектом или методом исследования. Важными классами онтологии является класс «Информационные ресурсы», который описывает базы данных и вычислительные системы по активной сейсмологии.

### **3 Научная информационная система и портал знаний по активной сейсмологии**

С целью интеграции и предоставления данных и знаний в интересах фундаментальных научных исследований физики сейсмического процесса, изучения глубинного строения геологической среды, мониторинга природных сейсмических и вулканических процессов был построен интеллектуальный веб-ресурс, который охватывает все этапы вибросейсмических исследований: эксперимент, моделирование, библиографию, публикацию результатов и их обсуждение.

Архитектуру ресурса можно представить в виде двух взаимодействующих подсистем (Рис. 1). Первая из них – Научная информационная система (НИС) «Активная сейсмология» обеспечивает доступ пользователей к полученным в ходе полевых и вычислительных экспериментов данным по вибросейсмическому мониторингу и их анализу в режиме онлайн, а также включает в себя пополняемую пользователями тематическую электронную библиотеку, содержащую тезисы и полные тексты статей.

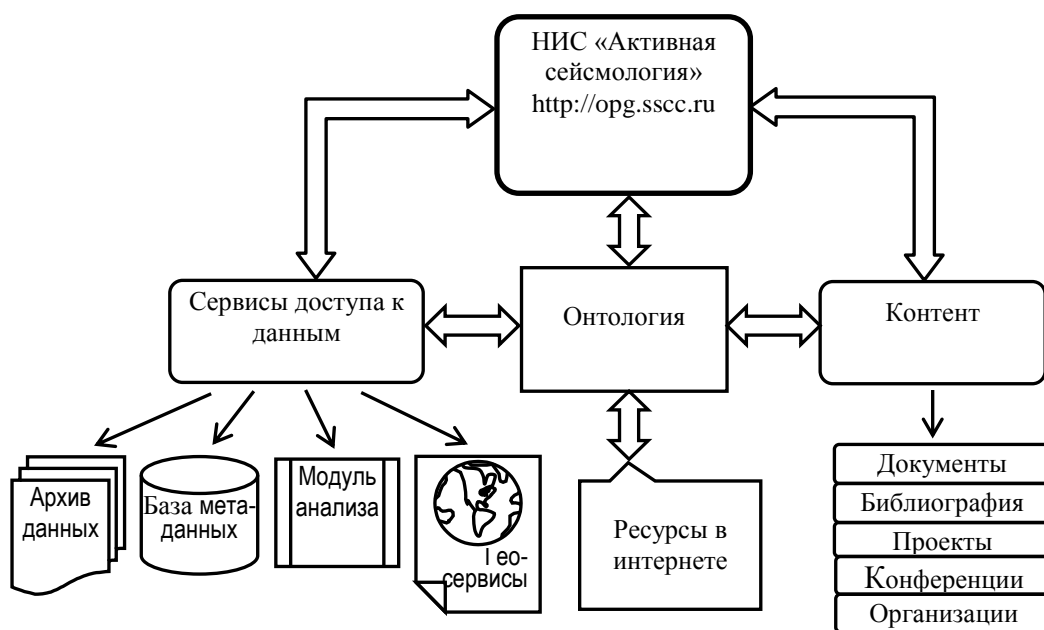


Рис.1. Структура интернет-ресурса.

Вторая – Портал знаний предназначен как для систематизации данной предметной области в целом, так и разнородных данных и средств их обработки, представленных в НИС. Концептуальным базисом информационной модели портала знаний является онтология предметной области «Активная сейсмология».

*Научная информационная система включает в себя следующие основные компоненты:*

- информационно-вычислительная система (ИВС) «Вибросейсмическое просвечивание Земли»;
- база данных результатов вычислительных экспериментов (Синтетические сейсмограммы);
- архив снимков волнового поля (Волновые поля);
- пополняемая пользователями база данных научных работ – электронная библиотека;
- пополняемый пользователями библиографический каталог.

Информационно-вычислительная система «Вибросейсмическое просвечивание Земли» [10] обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- получение из базы данных подробной информации по любому из проведенных экспериментов;
- индексный и параметрический поиск сеймотрасс одновременно по 18 параметрам вибропросвечивания;
- автоматическое построение по результатам поиска интерактивных карт с обозначенными на них сейсмическими источниками и регистраторами;
- интерактивный анализ сейсмических сигналов во временной, частотной, частотно-временной и пространственной областях онлайн с отображением результатов в веб-браузере пользователя.

По своей структуре и функциям ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» в рамках современной терминологии может быть отнесена к центрам научных данных. Стиль работы в таких центрах состоит в посылке запросов приложениям, выполняемым на сервере, и получении ответов, а не в массовом копировании необработанных данных на локальный компьютер для дальнейшего анализа.

ИВС использует СУБД MySQL, картографическая подсистема реализована на базе сервиса Google Maps. Вычислительная подсистема представляет собой приложение, выполняемое непосредственно в среде операционной системы сервера. Для обеспечения достаточного для

онлайн-режима быстрогодействия приложение написано на языке C++ и использует программные библиотеки с низкоуровневой оптимизацией Intel Performance Libraries.

Портал знаний обеспечивает целостное представление знаний о предметной области и установление взаимосвязей между относящимися к этой науке событиями, объектами, результатами и методами исследования. Онтология портала вводит формальные описания понятий предметной области в виде классов объектов и отношений между ними, тем самым задавая структуры для представления реальных объектов и их связей. В соответствии с этим данные на портале представлены в виде семантической сети, т.е. как множество разнотипных взаимосвязанных информационных объектов. Содержательный доступ к систематизированным знаниям и информационным ресурсам обеспечивается с помощью предоставляемых порталом развитых средств навигации и поиска, функционирование которых также базируется на онтологии. Портал знаний построен средствами, разработанными Лабораторией искусственного интеллекта ИСИ СО РАН [7].

На рис. 2 показана страница с описанием объекта «Комплексная эколого-геофизическая экспедиция на грязевых вулканах Краснодарского-2005», относящегося к Подклассу «Экспедиционные работы» Класса «Деятельность». Связанные с ним объекты представлены на этой странице гиперссылками, позволяющими переходить к описанию организаций и персон, участвующих в данном виде деятельности, использованных методах исследования, к разделам НИС «Активная сейсмология», содержащим подробное описание эксперимента (Рис. 3а), а также к данным эксперимента и средствам их анализа (Рис. 3б).

**Портал знаний по активной сейсмологии**

РЕДАКТОР ОНТОЛОГИИ | РЕДАКТОР ДАННЫХ | РЕДАКТОР НОВОСТЕЙ

главная | поиск

О РЕСУРСЕ | СТАТИСТИКА

ВЫХОД

**Свойства объекта**

<b>Экспедиционные работы</b>	Комплексная эколого-геофизическая экспедиция на грязевых вулканах Краснодарского края (Таманская грязевулканическая провинция)-2005
<b>Название деятельности</b>	Комплексная эколого-геофизическая экспедиция на грязевых вулканах Краснодарского края (Таманская грязевулканическая провинция)-2005
<b>Описание деятельности</b>	В период с 28 августа по 12 сентября 2005 года комплексная эколого-геофизическая экспедиция ученых Кубанского государственного университета, Института Физики Земли им. О.Ю. Шиндта РАН и Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН провела комплексные полевые исследования на грязевых вулканах в районе Таманской грязевулканической провинции. В рамках экспедиции были проведены полевые работы по вибропросечиванию грязевых вулканов Актанизовский, Шуго, проведена предварительная обработка данных, экспертная оценка и интерпретация данных. По результатам работ подготовлен комплексный отчет.
<b>Дата начала</b>	28 августа 2005
<b>Дата окончания</b>	12 сентября 2005
<b>URL</b>	http://org.sssc.ru/db/geo.php?ExpId=054

**Связи объекта**

имеетДеятельностьНаправление

**РазделНаука**

Вибросейсмические исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии  
Вибросейсмический мониторинг сейсмоопасных зон  
Исследования геодинамических процессов сейсмоопасных и вулканических зон  
Экспериментальные исследования в активной сейсмологии

используетДеятельностьМетод

**Методы и средства исследования**

Вибропросечивание  
Интерпретация  
Профессиональная регистрация  
Экспертное оценивание

исследуетОбъект

<b>ОбъектИсследования</b>	Язык
г.в. Актанизовский	
г.в. Шуго	

**Обратные связи объекта**

являетсяОрганизациейУчастникомДеятельности

**Организации**

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (ИВММГ СО РАН)  
Институт Физики Земли им. О.Ю. Шиндта РАН (ИФЗ РАН)  
Кубанский Государственный университет (КубГУ)

являетсяПубликациейОДеятельности

**Публикации**

Собисевич (А.Л.) (О грязевом вулканизме в поднеаппальском складчатом сооружении Северо-Западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго))  
Брагинская (Л.П.) (Отчет "Обработка данных вибросейсмического зондирования в Шуго")  
Собисевич (А.Л.) (Отчет о работах комплексной эколого-геофизической экспедиции на грязевых вулканах Краснодарского края (Таманская грязевулканическая провинция))  
Собисевич (А.Л.) (Структурная позиция и проблемы возникновения очагов грязевого вулканизма в поднеаппальском складчатом сооружении Северо-западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго))

являетсяУчастникомДеятельности

<b>Персоны</b>	Роль Участника Деятельности
Бабенко (В.А.)	научный руководитель
Брагинская (Л.П.)	исполнитель
Григорьев (А.П.)	
Собисевич (Е.И.)	
Собисевич (А.Л.)	

Рис. 2. Страница Портала.

Эксперимент: 054 Вулкан Шуго

**Краткое описание**  
 Эксперимент по вибросейсмическому зондированию грязевого вулкана Шуго (Таманская грязевулканическая провинция, Краснодарский край) с применением 10-тонного передвижного вибратора.

**Сейсмоисточники**

№	Вид	Название	Широта (град.)	Долгота (град.)	№ рег.	Расст. (км)	Азимут (град.)
7	vibrator	СВ10 Шуго_1	45.0805	37.596	2	3.56	134.9
					3	3.55	135.2
					4	3.85	135.2
					1	0.5	128.4
8	vibrator	СВ10 Шуго_2	45.0832	37.5911	2	4.05	134
					3	4.04	134.4
					4	4.34	134.4
					1	1.67	134.3
9	vibrator	СВ10 Шуго_3	45.0909	37.5809	2	5.22	134.6
					3	5.21	134.9
					4	5.51	134.9
					1	3.5	134.5

**Регистраторы**

№	Тип	Сенсор	Шаг косы (м)	Азимут косы (град.)	Широта (град.)	Долгота (град.)
1	РОСА-С	5 x SV-5	33	134	45.0804	37.5961
2	РОСА-С	5 x SV-5	33	134	45.0579	37.6281

Рис. 3а. Описание эксперимента

**Активная сейсмология**  
 с мощными вибрационными источниками

Информационно-вычислительная система «Вибросейсмическое просвечивание Земли»

Вид сейсмического источника и параметры сигнала

Источники: сеймовибратор, промвзрыв, другое

Сигнал: свип, мощность, Т, частота, Гц, длительность, сек

**Сейсмострассы**

Найдено сейсмоисточников: 4, регистраторов: 4.  
 Найдено сейсмострасс: 690, выбраны первые 99.  
 Рекомендуется поискать с более жесткими условиями.

Время: 0 - 6 сек  
 Частота: 5 - 15 Гц  
 Ампл-да: max, цвет  
 Размер пикс.: 540 x 60

Поляризация: Спектр частотно-временной

Всех сейсмострассы

054 001 01.01z 054 001 01.02z 054 001 01.03z  
 054 001 01.04z 054 001 01.05z 054 001 01.06z  
 054 001 01.07z 054 001 01.08z 054 001 01.09z  
 054 001 01.10z 054 001 01.11z 054 001 01.12z  
 054 002 01.01z 054 002 01.02z 054 002 01.03z  
 054 002 01.04z 054 002 01.05z 054 002 01.06z  
 054 002 01.07z 054 002 01.08z 054 002 01.09z  
 054 002 01.10z 054 002 01.11z 054 002 01.12z  
 054 003 01.01z 054 003 01.02z 054 003 01.03z  
 054 003 01.04z 054 003 01.05z 054 003 01.06z  
 054 003 01.07z 054 003 01.08z 054 003 01.09z  
 054 003 01.10z 054 003 01.11z 054 003 01.12z  
 054 004 01.01z 054 004 01.02z 054 004 01.03z  
 054 004 01.04z 054 004 01.05z 054 004 01.06z  
 054 004 01.07z 054 004 01.08z 054 004 01.09z  
 054 004 01.10z 054 004 01.11z 054 004 01.12z  
 054 005 01.01z 054 005 01.02z 054 005 01.03z  
 054 005 01.04z 054 005 01.05z 054 005 01.06z  
 054 005 01.07z 054 005 01.08z 054 005 01.09z  
 054 005 01.10z 054 005 01.11z 054 005 01.12z  
 054 006 01.01z 054 006 01.02z 054 006 01.03z  
 054 006 01.04z 054 006 01.05z 054 006 01.06z  
 054 006 01.07z 054 006 01.08z 054 006 01.09z

Рис.3б. Данные и анализ.

## 4 Заключение

Организация информационной поддержки на основе новых информационных технологий является существенной частью вибросейсмических исследований на современном этапе. Содержательный доступ и хорошая визуализация экспериментальных данных, возможность анализа экспериментальных данных в сравнении с результатами математического моделирования, доступ к соответствующим отчетам о полевых экспериментах, публикациям, раскрывающим методологию эксперимента, обработки, методам моделирования и т.п., обеспечивают лучшее понимание предметной области пользователями интернет-ресурса «Активная сейсмология». Разработанный интернет-ресурс обеспечивает взаимодействие исследователей при решении задач в различных областях геофизики, таких как изучение глубинного строения земной коры и мониторинг геодинамических процессов в сейсмоактивных областях, к которым можно отнести задачу верификации геофизических моделей.

## 5 Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-06821.

## Литература

- [1] Журавлева Е.Ю. Эпистемический статус цифровых данных в современных научных исследованиях // Вопросы философии. – 2012. – №2. – С. 113–123.
- [2] Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. и др. "Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками". Монография. Филиал «Гео» Издательства СО РАН, Новосибирск, 350 с., 2004 г.
- [3] Татьков Г.И., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д., Толочко В.В., Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Вибросейсмические исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. // Отечественная геология. – 2013.– №3. – С. 16-23.
- [4] Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Разработка технологии верификации скоростных моделей земной коры // Информационные технологии в науке, образовании и управлении: материалы Международной конференции IT+S&E'16 (Гурзуф, 22 мая-01 июня 2016 г.) под редакцией проф. Е.Л. Глориезова, М.:ИНИТ, 2016. Весенняя сессия. С. 188–197
- [5] Татьков Г.И. Геофизический мониторинг напряженно-деформированного состояния природных и технических систем: Дис. доктора геол.-мин. наук. Иркутск, 2009. 309 с.
- [6] Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. О формализации семантики областей знаний в информационных и интеллектуальных системах на основе онтологий // В сборнике: Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2014) Материалы IV Международной научно-технической конференции. Редколлегия: В. В. Голенков. 2014. С. 117–130.
- [7] Загорулько Ю.А. Технология разработки интеллектуальных научных интернет-ресурсов, ориентированная на экспертов предметной области // Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем. Сборник избранных научных статей. Труды Четвертого Всероссийского симпозиума (С.-Петербург, 6 – 8 октября 2014 г.). Под ред. Е.В. Кудашева, В.А. Серебрякова. М.: ВЦ РАН, 2014 - Т.1. – С.69 – 86.
- [8] 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.
- [9] М.С. Хайретдинов, Г.М. Воскобойникова. Многопараметрическая задача оценивания геоэкологических рисков // Экология. Экономика. Информатика. В 3 т. Т. 2. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем: сб. ст. – Ростов-на-Дону: Изд-во Юж. федерал. ун-та. – С. 664 – 671.
- [10] Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационная система для комплексной поддержки научных исследований в области активной сейсмологии // Вестник КемГУ. 2012 – 4: – С. 43 – 48.