

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
630090, Новосибирск, Россия

УДК 550.34

Рассмотрены вопросы информационной поддержки вибросейсмических исследований – направления экспериментальной геофизики, активно развивающегося в последние десятилетия. Представленная информационно-аналитическая система с функциями социальной сети обеспечивает пользователей многопараметрическим поисковым, вычислительно-аналитическим и ГИС сервисами для работы в режиме on-line с данными вибросейсмического мониторинга, а также включает пополняемые пользователями базу данных научных работ – электронную библиотеку и библиографический каталог по тематике активной сейсмологии и смежных дисциплин. В настоящее время ресурс доступен по адресу [org.sccc.ru](http://org.sccc.ru).

**Ключевые слова:** сейсмология, вычислительные информационные системы, базы данных.

The paper discusses the issues of information support vibroseismic research – areas of Experimental Geophysics actively developed in recent decades. The presented information-analytical system with the functions of the social network provides users with a multivariable search, computational and analytical and GIS services for use in on-line mode with the data vibroseismic monitoring, and includes reloadable users of a database of scientific publications - an electronic library and bibliographic catalog by subject of active seismology and related disciplines. At present, the resource is available at [org.sccc.ru](http://org.sccc.ru).

**Key words:** seismology, informational computing system, database.

**Введение.** Современные веб-технологии, известные как технологии веб 2.0, дают возможность пользователям реализовывать информационное сопровождение своих научных исследований, а также вступать в активное взаимодействие с другими пользователями и непосредственно с информационными ресурсами. В настоящее время все большее развитие получают специализированные для определенной предметной области информационные системы, обеспечивающие доступ к научным знаниям, включая научные публикации, научные отчеты, базы данных, вычислительные ресурсы, нормативные и другие документы. Эти системы предназначены для таких категорий пользователей, как ученые и эксперты (доступ к научным результатам, научные коммуникации), преподаватели и студенты (образовательный процесс). Как отмечается в работе [1], процессы развития таких информационных систем создают особую виртуальную среду для научных исследований. Инициатива исследовательских организаций по обеспечению

открытого доступа к результатам исследований активно поддерживается международным научным сообществом [2].

В данной работе рассмотрены вопросы организации эффективного взаимодействия и доступа к научной информации пользователей, работающих в области вибросейсмических исследований и смежных областях. Представлены архитектура, интерфейс и основные пользовательские сервисы информационной системы (ИС) "Активная сейсмология", которая охватывает все этапы вибросейсмических исследований: эксперимент, анализ экспериментальных данных, публикацию результатов научных исследований и возможность их обсуждения профессиональным сообществом.

**Активная сейсмология.** Последние 30 лет в экспериментальной геофизике активно развивается новое направление – активная сейсмология, использующее управляемые источники сейсмических волн (мощные сейсмические вибраторы, гидромеханические и электромагнитные импульсные источники) для изучения строения земной коры и верхней мантии, а также исследования геодинамических процессов в зонах землетрясений и вулканов [3]. Это направление сформировалось в рамках научной программы "Вибрационное просвечивание Земли", выполнявшейся в Сибирском отделении РАН в 1970–90 гг. под руководством академика А. С. Алексеева. За эти годы была создана экспериментальная база метода – мощные сейсмические вибраторы, системы регистрации вибрационных сигналов и системы компьютерной обработки вибросейсмических данных, а также выполнен большой объем экспериментов по вибрационному зондированию Земли в различных регионах России [4–6].

В настоящее время работы по активной сейсмологии проводятся в России, Японии, Китае, США, европейских странах. В Японии с помощью вибросейсмической системы ACCROSS проводится мониторинг сейсмоопасных и разломных зон земной коры. В США в зоне разлома Сан-Андреас проводится мониторинг напряженного состояния разлома с использованием сейсмо-разведочных вибраторов. С участием ИВМиМГ СО РАН в рамках экспериментальных исследований проводился вибросейсмический мониторинг литосферы в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне и Таманской грязевулканической провинции, на профиле Улан-Удэ – Улан-Батор.

К методам активной сейсмологии также относят экспериментальные работы, в которых регистрируется сейсмическое поле природных источников по технологии, определенной конкретной задачей геофизики, например, сейсмоэмиссионной томографией вулканических структур с регистрацией микросейсмических событий из активной области вулкана. К таким работам можно отнести уникальный эксперимент по регистрации низкоэнергетических сейсмических событий в районе Эльбрусского вулканического центра, проведенный ИВМиМГ СО РАН в 2010 г. с использованием впервые созданной сейсмической антенны длиной 2,5 км в штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН.

В области активной сейсмологии накоплен большой объем информации по всем составляющим метода, включая вопросы теории метода, создания управляемых источников, результатов экспериментальных работ, методов математического моделирования, который представлен в разрозненных источниках – статьях, монографиях, отчетах, на сайтах институтов и др.

С целью интеграции тематических информационных и вычислительных ресурсов авторами данной статьи разработана информационная система (ИС) "Активная сейсмология", представляющая собой Интернет-ресурс, основанный на принципах веб 2.0. Основной задачей ИС "Активная сейсмология" является получение, интеграция и предоставление данных и знаний в интересах фундаментальных научных исследований глубинного строения геологической среды, физики сейсмического процесса, изучения пространственного распределения очагов сейсмических событий, уточнения формы и размеров локальных магматических структур. Также задачей ИС является развитие методов обработки и интерпретации многопараметрических геофизических данных с использованием новых информационных технологий.

**Научная информационная система "Активная сейсмология"**. ИС включает информационно-вычислительную систему "Вибросейсмическое просвечивание Земли" [7] и сервисы для управления публикациями и организации социальной сети. Также на страницах сайта представлена информация об организациях, участвующих в научных исследованиях в области активной сейсмологии с применением мощных вибрационных источников, конференциях по данной тематике и проектах с участием ИВМиМГ СО РАН. Структурная схема ИС "Активная сейсмология" представлена на рис. 1.

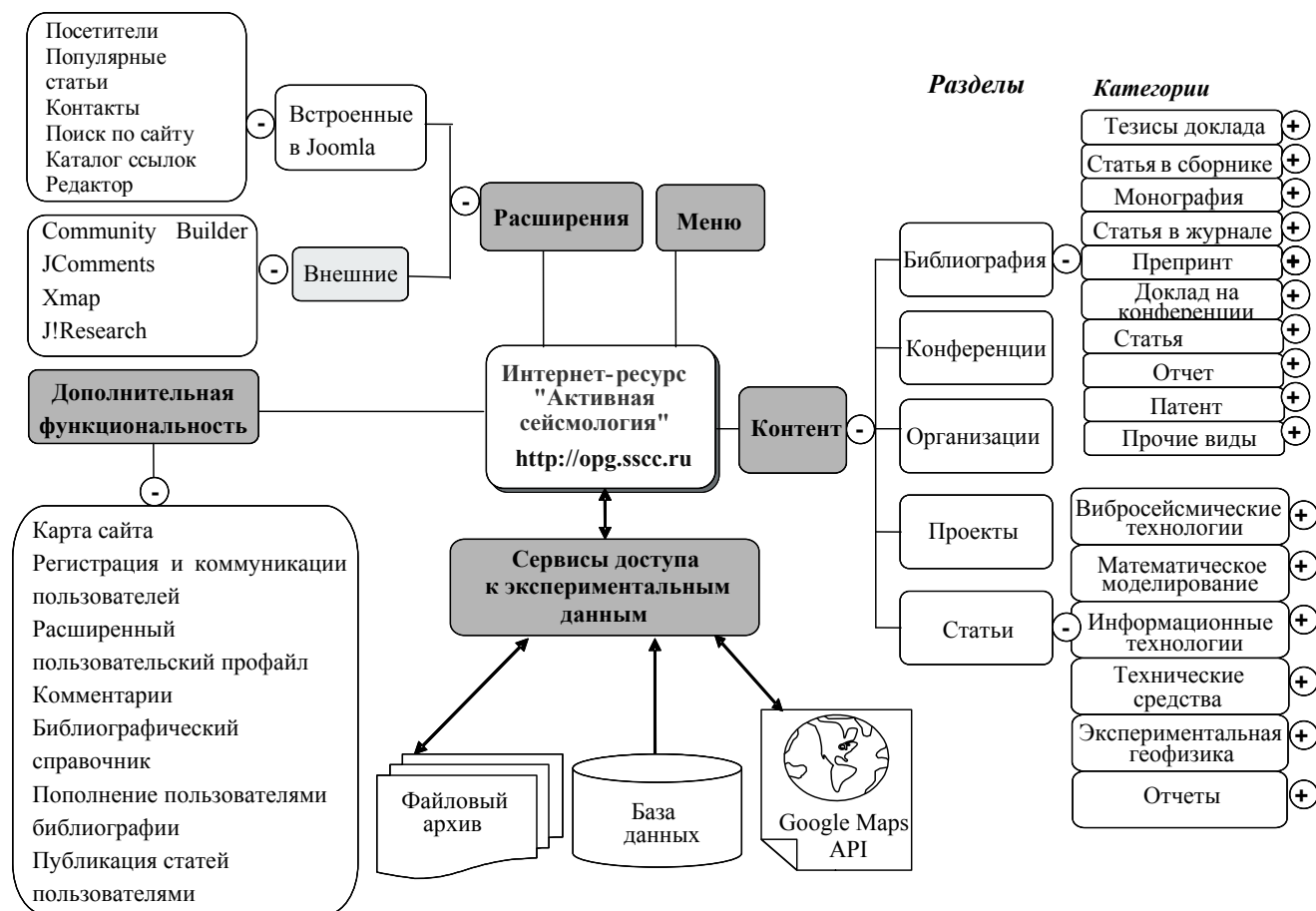


Рис. 1. Структурная схема Интернет-ресурса "Активная сейсмология"

**Управление публикациями и организация социальной сети.** Как отмечалось выше, Интернет-ресурс, обеспечивающий функционирование виртуальной рабочей среды, основан на принципах веб 2.0, согласно которым пользователи принимают непосредственное участие как в создании контента (содержимого ресурса), так и в организации научных коммуникаций. Для создания подобных ресурсов существует специализированное серверное программное обеспечение, называемое системами управления содержимым – CMS (Content Management System).

В результате сравнительного анализа различных систем управления содержимым для ИС "Активная сейсмология" выбрана система CMS Joomla. Данная CMS распространяется по лицензии GNU/GPL (свободное программное обеспечение) и ориентирована в первую очередь на создание сайтов электронных публикаций. Для работы Joomla требуется PHP-интерпретатор и СУБД MySQL, также являющиеся свободно распространяемым ПО. Наличие большого количества дополнительных Joomla-компонентов позволяет расширять функциональность ресурса в соответствии с требованиями современных информационно-коммуникационных технологий. Ниже перечислены дополнительные Joomla-компоненты, использованные для создания Интернет-ресурса.

*Community Builder* – компонент для управления пользователями и организации связей между ними, используется для создания и поддержки онлайн-сообществ. Основные функции компонента:

- расширенное управление регистрацией пользователей, создание дополнительных полей в профайле, например списка опубликованных статей;
- организация контактов между пользователями, создание рабочих групп;
- поддержка систем личных сообщений (PMS), почтовых рассылок, блогов пользователей.

*J!Research* – компонент для организации на сайте библиографического каталога научных публикаций. Имеется возможность вставлять в материалы сайта ссылки на записи каталога и автоматически генерировать список литературы. Компонент позволяет пользователям как добавлять записи через веб-форму, так и импортировать библиографическую базу данных из bib-файла. Предусмотрен импорт/экспорт из форматов BibTex, MODS, RIS. Компонент обеспечивает поиск, сортировку, выборку по любому из полей: автор, издание, год публикации и т. п.

*JComments* – компонент, который позволяет пользователям не только оставлять комментарии к различным материалам, размещенным на сайте, но и разворачивать обсуждение в формате форума.

*Mime Tex* – компонент для включения в размещаемые на сайте материалы математических выражений в формате LaTeX.

*Attachments* – компонент для загрузки и публикации материалов в формате PDF. Таким образом, пользователь может в онлайн-редакторе набрать часть статьи или краткую аннотацию, а полный текст статьи или дополнительные материалы "прикрепить" в виде файла PDF. Статьи и другие материалы могут публиковаться в одном из следующих разделов:

- вибросейсмические технологии;
- математическое моделирование;
- экспериментальная геофизика;
- вулканология и сейсмология;

- технические средства вибросейсмического мониторинга;
- информационные технологии.

**Управление экспериментальными данными.** Экспериментальные работы по вибросейсмическому мониторингу проводятся в ИВМиМГ СО РАН с 1985 г. В результате накоплен уникальный архив данных полевых экспериментов, включающий архив файлов волновых форм и сопутствующей информации (тип сейсмического источника, параметры излучаемого им сигнала, параметры регистратора, географические координаты источника и регистратора и т. д.).

Для доступа к этому экспериментальному материалу разработана информационно-вычислительная система (ИВС) "Вибросейсмическое просвечивание Земли".

Система имеет архитектуру клиент-сервера, в соответствии с которой хранение и обработка данных производятся на стороне сервера, пользователи формируют запросы на поиск и анализ данных и получают готовый результат в режиме on-line с помощью стандартного web-браузера. В запросе на поиск указываются интересующие пользователя значения параметров исследуемого объекта, воздействующих на объект факторов и параметры сенсоров, регистрирующих данные. Запрос на анализ должен содержать перечень процедур анализа, которые будут применены к найденным данным, и параметры этих процедур. В результате выполнения запросов данные извлекаются из файлового архива и передаются модулю анализа. Это приложение, выполняющее анализ данных в соответствии с алгоритмами обработки вибросейсмических сигналов. Для обеспечения достаточного для on-line режима быстродействия приложение написано на языке C++ с использованием программных библиотек Intel Performance Libraries. Полученные в результате анализа числовые массивы возвращаются веб-приложению, которое "на лету" формирует графики, таблицы, текст и отправляет все это пользователю в виде готовой веб-страницы.

ИВС обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- получение подробной информации по любому из проведенных экспериментов (метаданные);
- поиск в базе данных одновременно по 18 параметрам вибропросвечивания (типы источников, вид и параметры сигналов, географические координаты и др.);
- интерактивный on-line анализ (корреляционный, спектральный, спектрально-временной и т. д.) найденных сейсмотрасс с отображением результатов непосредственно в веб-браузере пользователя;
- построение по результатам поиска интерактивных карт и спутниковых снимков с обозначенными источниками и регистраторами сейсмических волн.

Файловый архив содержит полевые экспериментальные данные 1996–2012 гг. Объем архива – около 50000 сейсмотрасс. Структурная схема информационно-вычислительной системы приведена на рис. 2. На рис. 3 представлены поисковая форма и результат выполнения запроса к ИВС.

**Управление геопространственными данными.** Современные СУБД поддерживают класс пространственных данных непосредственно или с помощью специальных расширений. Картографические сервисы, в частности web-сервисы, до недавнего времени строились преимущественно на основе специализированного серверного ПО, позволяющего публиковать в сети Интернет карты, сопровождаемые базовым ГИС-инструментарием. Однако в последние годы в Интернете все большее распространение получают гибридные ГИС.

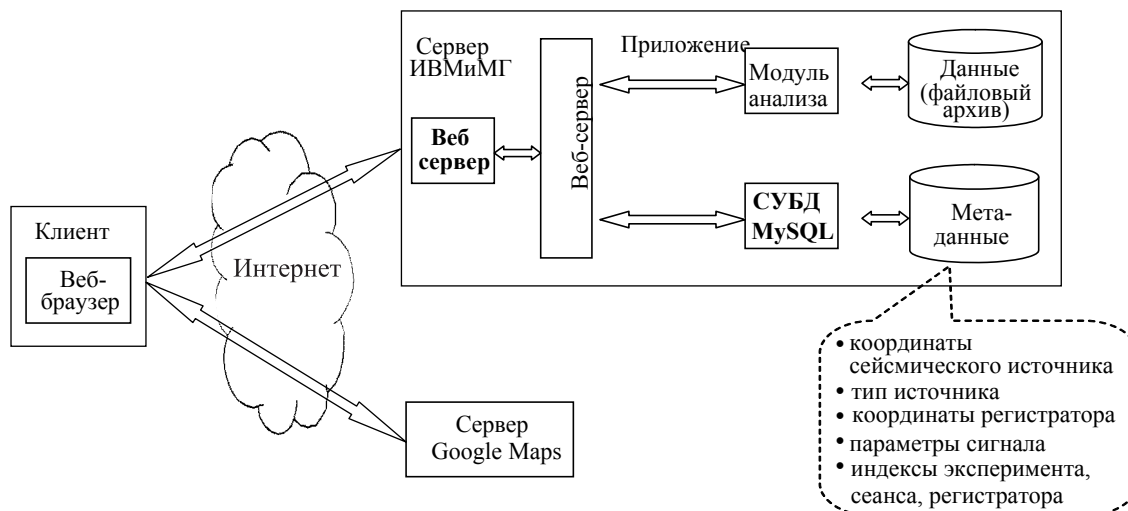


Рис. 2. Структурная схема информационно-вычислительной системы

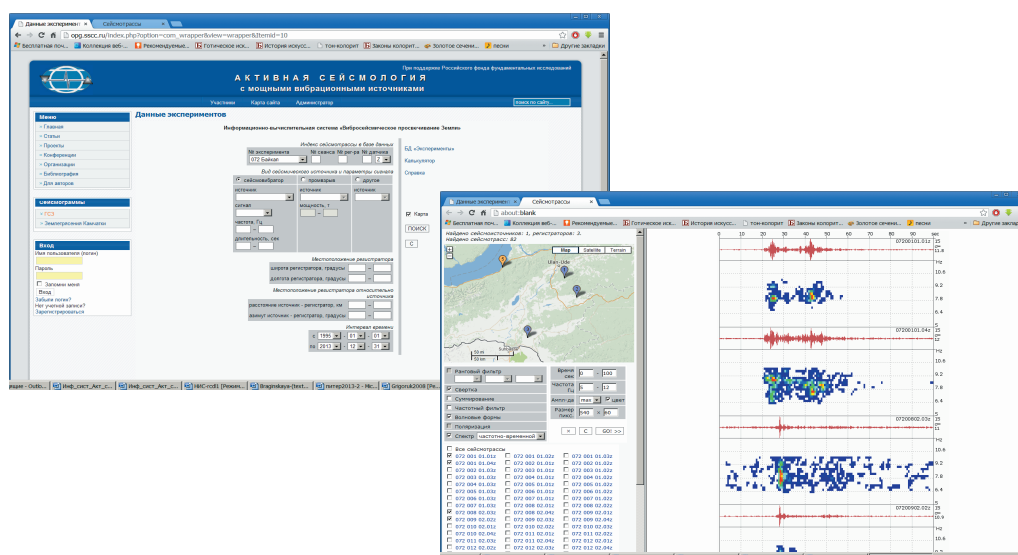


Рис. 3. Поисковая форма ИВС "Вибросейсмическое просвещение Земли" (вверху). Карта эксперимента, вибрационные сеймотрассы и их спектрально-временные функции (внизу)

В таких системах геоданные из прикладной базы данных интегрируются с картографическим сервисом, предоставляемым специализированным web-сервером. На сегодняшний день наиболее развитым картографическим web-сервисом является Google Maps компании Google.

Архитектура ИВС "Вибросейсмическое просвещение Земли" [8] предусматривает наличие подсистемы управления геоданными и картографическую подсистему на основе сервиса Google Maps. Сервис базируется на данных дистанционного зондирования (спектрозональные снимки со спутников Landsat, SPOT, Quickbird с разрешением до 0,68 м), совмещенных с топографическими картами в проекции Меркатора. Компания Google предоставляет пользователям интерфейс Google Maps API в виде классов объектов JavaScript для генерации карт и нанесения на них собственных маркеров, контуров, а также готовых слоев в формате KML. Данные для отображения могут находиться как непосредственно в коде web-страниц, так и во внешних XML- и KML-файлах. Схема взаимодействия сервера ИВС, сервера Google Maps и клиентского браузера

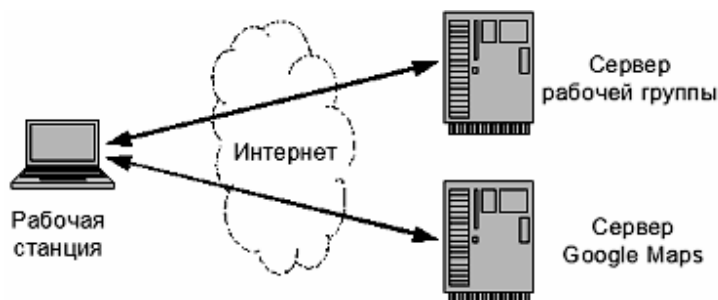


Рис. 4. Структура гибридной ГИС

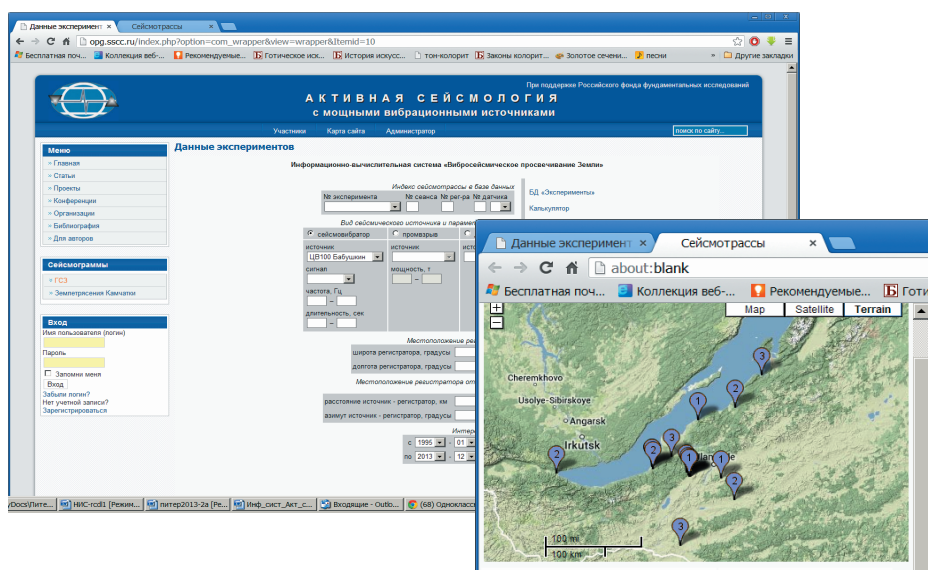


Рис. 5. Интерактивная карта, сгенерированная в соответствии с пользовательским запросом ра показана на рис. 4. На рис. 5 приведен пример интерактивной карты, сгенерированной в соответствии с пользовательским запросом.

**Заключение.** В работе представлены архитектура, интерфейс и основные пользовательские сервисы ИС "Активная сейсмология" для информационной поддержки теоретических и экспериментальных исследований в области активной сейсмологии с функциями социальной сети. Основными компонентами ИИС являются: информационно-вычислительная система (ИВС), обеспечивающая пользователей многопараметрическим поисковым, вычислительно-аналитическим и ГИС сервисами для работы с данными сейсмического мониторинга в режиме on-line; пополняемая пользователями база данных научных работ – электронная библиотека; пополняемый пользователями библиографический каталог.

Информационная система "Активная сейсмология" охватывает все этапы исследований в области активной сейсмологии: предоставление доступа к экспериментальным данным, вычислительный анализ экспериментальных данных, публикацию результатов научных исследований и возможность их обсуждения профессиональным сообществом.

Предоставленные в открытом доступе экспериментальные данные и предлагаемый пользователям сервис ИС существенно расширили географию и число исследователей, использующих

экспериментальные данные для развития методов обработки и интерпретации вибросейсмических данных, математического моделирования и т. п.

На сегодняшний день более 50 зарегистрированных участников публикуют свои статьи и участвуют в обсуждении работ коллег.

Соблюдение принципа технологической открытости ИС позволяет подключать новые базы данных, оперативно актуализировать имеющиеся базы данных, наращивать производительность вычислительно-аналитического модуля.

В ИС представлены все российские научные организации, работающие в данной проблематике. В настоящее время ресурс доступен по адресу [org.sssc.ru](http://org.sssc.ru).

#### Список литературы

1. ЛОПАТЕНКО А. С. Современные научные информационные системы. Перспективы использования. [Электрон. ресурс]. [www.derpi.tuwien.ac.at/~andrei/papers/dl2001-1.htm](http://www.derpi.tuwien.ac.at/~andrei/papers/dl2001-1.htm).
2. ПАРИНОВ С. И. Онлайн-будущее науки. [Электрон. ресурс]. [www.infosoc.ru/2007/thes/part1/Parinov.pdf](http://www.infosoc.ru/2007/thes/part1/Parinov.pdf).
3. АКТИВНАЯ сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв. ред. Г. М. Цибульчик. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН; Филиал "Гео" Изд-ва СО РАН, 2004.
4. ALEKSEEV A. S., TSIBULCHIK G. M., KOVALEVSKY V. V., BELONOSOV A. S. The basis of the theory of active geophysical (multidisciplinary) monitoring. Conception of "source" and "surface" dilatant zones. Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration. V. 40. Active geophysical monitoring. 2010. Elsevier Science. P. 55–71.
5. МИХАЙЛЕНКО Б. Г. и др. Методы активной сейсмологии в задачах мониторинга глубинного строения Земли // Экстремальные природные явления и катастрофы. Т. 1: Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений / Отв. ред. А. О. Глико; отв. сост. А. Л. Собисевич. М.: ИФЗ РАН, 2010. С. 89–130.
6. МЕТОДЫ решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли / Отв. ред. Б. Г. Михайленко, М. И. Эпов; Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2010.
7. ГРИГОРЮК А. П., БРАГИНСКАЯ Л. П. Интернет-ресурс по вибросейсмическому мониторингу. Современное состояние и перспективы развития // Горный информационно-аналитический бюллетень, Отдельный выпуск. 2009. Кузбасс 3. Т. 2.
8. ГРИГОРЮК А. П., БРАГИНСКАЯ Л. П. Опыт веб-картографирования на основе сервиса Google Maps // Материалы 4-го Междунар. научн. конгр. "ГЕО-Сибирь-2008", Новосибирск, 2008. С. 291–293.

*Ковалевский Валерий Викторович – д-р техн. наук, зам. директора Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; e-mail: kovalevsky@sscc.ru;*

*Брагинская Людмила Петровна – вед. программист Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; e-mail: ludmila@opg.sssc.ru.*

*Григорюк Андрей Павлович – науч. сотр. Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; e-mail: and@opg.sssc.ru.*

Дата поступления – 10.06.13