

3. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Финансы и Статистика, 1976.

4. Истратов А.Ю., Захарченко К.В., Каперко А.Ф., Колюбин В.А., Кулагин В.П., Курочкин Р.И. Применение нейросетевого подхода к измерениям потоков космического излучения // Измерительная техника. 2016. № 3. С. 49–54.

Intelligent methods and information technologies in the processes of control and management of ionizing radiation

Alexey Fedorovich Kapenko, professor, professor NRU HSE

Vladimir Petrovich Kulagin, professor, chief of laboratory NRU HSE

Discusses the use as a smart method of controlling the flow of ionizing radiation neural network approach to processing the output from the spectrometer on diamond detectors. Using the spectrometer analyzes the output signal 24 containing the integral quantitative characteristics of the flow of ionizing radiation. Processed information about of electrons, protons and heavy charged particles in the energy range from 0 to 10000 MeV. The proposed mathematical model allows to obtain information about the values of differential fluxes of ionizing radiation in the energy range 21. Model conversion information in the registration section of the spectrometer is based on the use of simulation algorithm in the software GEANT4.

Keywords: artificial neural network, control, ionizing radiation, software GEANT4.

УДК: 550.834.32

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Валерий Викторович Ковалевский, д-р. техн. наук, зам. директора,
e-mail: kovalevsky@sscc.ru,

Людмила Петровна Брагинская, ведущий программист,
e-mail: ludmila@opg.sccc.ru,

Андрей Павлович Григорюк, научный сотрудник,
e-mail: and@opg.sccc.ru,

Алексей Геннадьевич Фатьянов, д-р. физ.-мат. наук, зав. лабораторией,
e-mail: fat@nmsf.sccc.ru,

Дмитрий Алексеевич Караваев, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник,
e-mail: kda@opg.sccc.ru,

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН (ИВМиМГ СО РАН),
<http://www.sccc.ru>*

В статье рассмотрены основы метода вибросейсмических исследований и вопросы применения геоинформационных технологий в задачах изучения глубинного строения земной коры, мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных областях, геофизических и инженерных приложений. Представленный в статье научный информационный сервис (<http://opg.sccc.ru>), разработанный в ИВМиМГ СО РАН, обеспечивает целостное представление предметной области и различных аспектов научной деятельности в активной сейсмологии, охватывая все основные этапы научных исследований: эксперимент, моделирование, библиографию, публикацию результатов и их обсуждение.

Ключевые слова: вибросейсмические исследования, активная сейсмология, земная кора, геодинамические процессы, научно информационная система и портал знаний.

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-07-06821 и Программы Президиума РАН № 18.

Введение

Последние три десятилетия прошлого века характеризовались активным развитием нового направления в экспериментальной геофизике, основанного на применении мощ-

ных управляемых вибрационных источников сейсмических волн для глубинных исследований Земли., Работы в этом направлении, получившем в последнее время название «Активная сейсмология», были инициированы созданием метода вибрационной сейсморазведки и сейсморазведочных вибраторов, которые показали возможность эффективно использования невзрывных источников в производственной геофизике. К настоящему времени в вибросейсмических исследованиях земной коры и мантии получили развитие все составляющие метода активной сейсмологии: вибрационные источники сейсмических волн, компьютерные системы управления, системы регистрации вибросейсмических сигналов на основе малых сейсмических групп с многоканальными цифровыми регистраторами, системы хранения данных, компьютерные комплексы программ обработки данных. Важной составляющей метода стало в последнее время объединение всех информационных ресурсов в рамках Научно-информационных систем.

Основы метода вибросейсмического зондирования Земли

Возможность изучения глубинных недр Земли и геодинамических процессов в земной коре с использованием мощных вибрационных источников была теоретически обоснована и практически реализована в 1970-80 гг. В активных методах сейсмических исследований проявились важные преимущества по сравнению с методами пассивной сейсмологии, связанные с точно определенными местом и временем действия источника, возможностью излучения сейсмического импульса заранее заданной формы и его многократного идентичного повторения; возможностью управления экспериментом на компьютерной основе; повсеместностью применения и экологической безопасностью.

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 [1].

Практическая реализация метода активной сейсмологии была начата в 70-х годах прошлого века в рамках программы АН СССР «Вибрационное просвечивание Земли» (руководитель академик А.С.Алексеев), в выполнении которой участвовали многие институты Сибирского отделения РАН. Была решена сложная комплексная научно-техническая задача, связанная с созданием мощных сейсмических вибраторов низкочастотного диапазона и прецизионных компьютерных систем управления, компьютерных систем регистрации и обработки вибрационных сигналов, а также с решением теоретических вопросов вибрационного излучения сейсмических волн, моделирования и расчета вибрационных волновых полей, с разработкой методик вибросейсмических исследований. В настоящее время мощные 100-тонные сейсмические вибраторы работают на Быстровском вибросейсмическом полигоне СО РАН (Новосибирская область), Южнобайкальском геодинамическом полигоне СО РАН (п. Бабушкин, Байкал) и Краснодарском вибросейсмическом полигоне (г. Краснодар) [1, 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 вибро-

сейсмического 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 (рис.1). С этим же источником выполнен уникальный эксперимент



Рис. 1. Система вибросейсмического мониторинга южного Прибайкалья. Красный треугольник – вибратор ЦВО-100 Южнобайкальского полигона, синие треугольники – сейсмические станции региональной сети

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, 5, 6].

Из зарубежных исследований с вибрационными источниками можно отметить работы по созданию электромагнитных вибраторов, выполненных в Голландии, работы по вибросейсмическому мониторингу сейсмоопасной зоны разлома Сан-Андреас в США, и большой комплекс работ по созданию системы вибросейсмического мониторинга ACROSS и проведению вибросейсмических

экспериментов в Японии. В Японии работы по мониторингу сейсмоопасной зоны в районе о. Авай с использованием вибросейсмического комплекса ACROSS проводятся с 2000 г.

Веб-ориентированный научный информационный ресурс «Активная сейсмология»

За время становления и развития метода ВПЗ проведен большой объем теоретических и экспериментальных работ по обоснованию вибросейсмического метода, по исследованию процессов излучения сейсмических волн вибрационными источниками, характеристик их волновых полей и физических эффектов, возникающих при вибрационном воздействии на геологическую среду. Накоплен большой объем экспериментальных данных по регистрации вибросейсмических данных в различных регионах, как со стационарных сейсмических станций, так и с мобильных малых сейсмических групп. Также, приходится работать с большими объемами синтетических данных, полученными при численном моделировании волновых процессов в сложно построенной среде.



Рис. 2. Структура интернет-ресурса «Активная сейсмология»

Представленные в Интернетe разрозненные информационные ресурсы не дают полного представления о

предметной области в целом, не позволяют проследить взаимосвязь между относящимися к активной сейсмологии событиями и персонами, объектами и методами исследования, полученными экспериментальными данными и результатами исследования.

Научная информационная система (НИС) «Активная сейсмология» [7] имеет следующие основные компоненты:

• Информационно-вычислительная система по глубинному сейсмическому просвечиванию Земли (ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли»), которая 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. Анализ осуществляется в режиме 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 [8].

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 быстродействия приложение написано на языке C++ и использует программные библиотеки с низкоуровневой оптимизацией Intel Performance Libraries [3]. Концептуальные основы, заложенные при разработке ИВС, позволяют создавать аналогичные системы управления экспериментальными данными в различных предметных областях.

Предоставление в режиме онлайн экспериментальных данных и предлагаемые сервисы ИВС являются привлекательной особенностью предлагаемой научно-информационной системы.

- 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.

Портал знаний по активной сейсмологии предназначен для систематизации как данной предметной области в целом, так и разнородных данных и средств их обработки, представленных в НИС «Активная сейсмология». Концептуальным базисом информационной модели портала знаний является разработанная авторами статьи онтология [9].

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 [10].

Портал знаний по активной сейсмологии

главная | поиск

Свойства объекта

Верификация моделей земной коры

Название: Верификация геофизических моделей Байкальской рифтовой зоны

Связи объекта

имеет предмет

Предмет исследования: Параметры волнового поля

использует результат

НаучныйРезультат_Продукт

111 - Эксперимент "Улан-Удэ- Улан-Батор. Профиль 1"

111 - Данные эксперимента "Профиль Улан-Удэ-Улан-Батор-1@ Волновое поле профиля Улан-Удэ-Улан-Батор

Синтетические сейсмограммы профиля Улан-Батор-Улан-Удэ

Обратные связи объекта

имеет задачу

РазделНауки

Активная сейсмология

Вибросейсмические исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии

Геофизические и математические модели земной коры и верхней мантии

описывает задачу

Публикация

H. Thybo (Lower crustal intrusions beneath the southern Baikal Rift Zone: Evidence from full-waveform modelling of wide-angle seismic data)

Брагинская (Л.П.), Григорюк (А.П.), Ковалевский (В.В.), Тубанов (Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал Улан-Батор, Монголия)

Мординова (Трехмерная модель юга Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий по обменным волнам)

Брагинская (Л.П.), Григорюк (А.П.), Ковалевский (В.В.), Тубанов, Фатьянов (А.Г.) (Экспериментальные исследования вибросейсмического поля вибратора цв-100 на профиле Байкал – Улан-Батор)

решает задачу

Деятельность

Интеграционный проект СО РАН 54 «Развитие методов математического моделирования геофизических полей и экспериментальные исследования геодинамических процессов в сейсмоопасных и вулканических зонах»

Проект СО РАН 4.9 «Исследования строения земной коры и геодинамических процессов в южной части Байкальской рифтовой зоны и северной Монголии вибросейсмическими методами»

Совместный проект РФФИ и Монгольской Академии Наук № 11-05-92215 «Исследование характеристик волнового поля мощного вибратора для целей вибросейсмического зондирования глубинных структур Монголо-Сибирского региона»

Экспедиционные работы Улан-Удэ-Улан-Батор

Рис. 3. Страница портала. Объект Класса «Задачи» «Верификация геофизических моделей Байкальской рифтовой зоны»

Проиллюстрировать возможности интеграции информационных ресурсов посредством Портала знаний можно на примере задачи «Верификация моделей земной коры», которая подразумевает сравнительный анализ результатов полевых экспериментов с расчетными, а также предполагает доступ к описанию различных моделей земной коры.

Страница Портала знаний с описанием объекта «Верификация моделей земной коры» представлена на рис.3. Связанные с ним объекты представлены на этой странице гиперссылками, позволяющими переходить к описанию предмета исследований (характеристикам волнового поля), результатов полевых и вычислительных экспериментов, деятельности, связанной с задачей верификации волновых полей, а также тематическими публикациями.

Получение данных о конкретных экспериментах из базы данных и результатов запроса к модулю анализа производится по гиперссылкам из раздела портала «Научный Результат_Продукт». Пример обращения к данным эксперимента «111 Байкал» в ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» приведен на рис. 4. Представлено описание эксперимента, картографическая информация, координатная привязка источника излучения и точек регистрации, расписание работы источника. Представлены также результаты обработки запроса «Свертка, Волновые формы, Спектр (частотно-временной)», позволяющие оценить характеристики вибрационных сейсмограмм во временной и частотной областях.

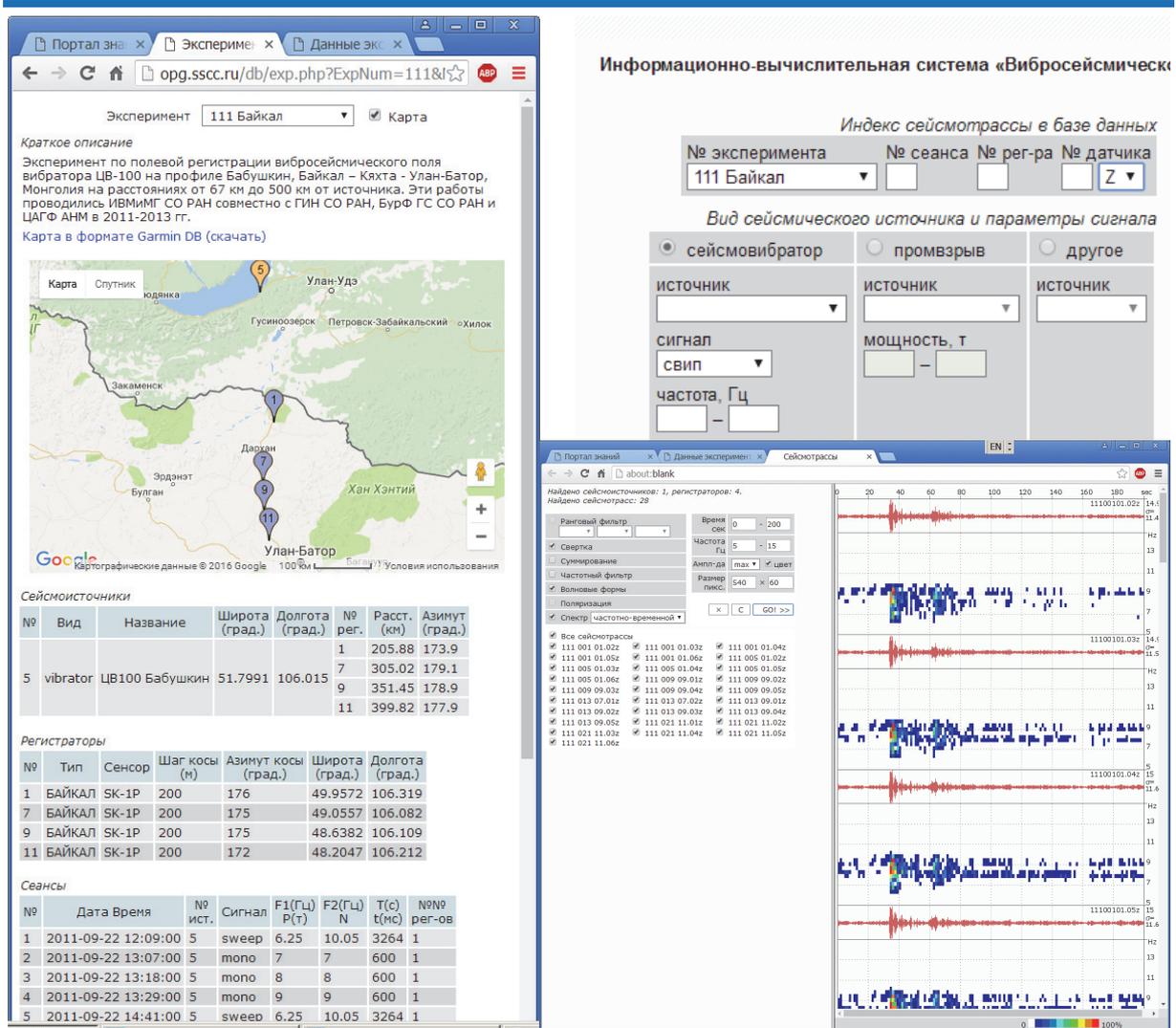


Рис. 4. Страницы ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» по эксперименту «111 Байкал»

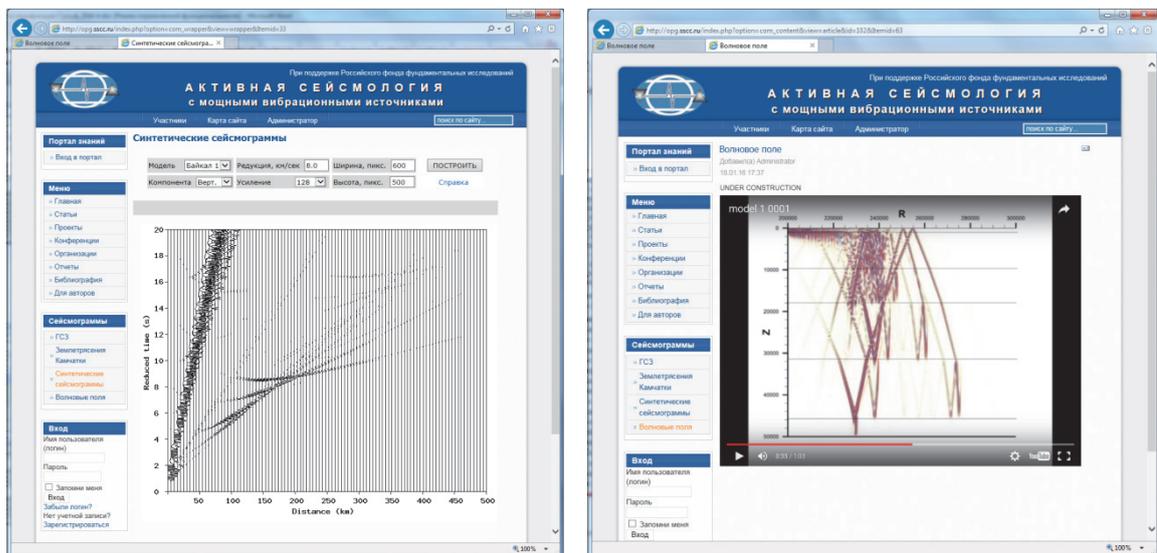


Рис. 5. Страницы НИС «Активная сейсмология», годографы теоретических сейсмограмм (слева) и снимки волнового поля (справа)

Результаты математического моделирования предоставляются при переходе по гиперссылке «Синтетические сейсмограммы» и «Волновое поле профиля Улан-Удэ - Улан-Батор» с обращением к каталогу математических моделей 2D скоростных разрезов; каталогу снимков волнового поля, базе теоретических сейсмограмм. На рис. 5

представлены годографы теоретических сейсмограмм и снимки волнового поля для 5-слойной скоростной модели одного из участков 500-км профиля Байкал –Улан-Батор в НИС «Активная сейсмология».

Также по гиперссылкам со страницы Портала можно перейти к полнотекстовым статьям, содержащим описание экспериментов, связанных задачей верификации моделей земной коры южного Прибайкалья и Северной Монголии, и описаниями геофизических моделей региона.

Заключение

Использование интегрированной научной среды по активной сейсмологии 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, а также с подробными отчетами полевых экспериментов, публикациями, раскрывающими методологию эксперимента, обработки, методов моделирования и т.п., обеспечивают лучшее понимание предметной области пользователями интернет-ресурса «Активная сейсмология». Разработанный интернет-ресурс обеспечивает взаимодействие исследователей различных направлений геофизики для решения актуальных задач изучения глубинного строения земной коры и мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных областях, к которым можно отнести задачу верификации геофизических моделей.

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты: разработка информационной технологии для вибросейсмических исследований глубинного строения земной коры и геодинамических процессов в сейсмоактивных областях, реализация информационной технологии в научно-информационной системе и портале знаний «Активная сейсмология». Предоставление пользователям доступа к информации о рассматриваемой области, к полевым данным вибросейсмических исследований, полученным в ходе многолетних экспериментов по вибросейсмическому мониторингу Земли, к результатам моделирования вибросейсмических волновых полей для различных моделей земной коры.

Литература

1. *Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. и др.* Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками: Монография. – Новосибирск, Филиал «Гео» Издательства СО РАН, 2004. 350 с.
2. *Alekseev A.S., Glinsky B.M., Kovalevsky V.V., Khairatdinov M.S.* Active vibromonitoring: experimental systems and fieldwork results. Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration Active geophysical monitoring, Elsevier Science, 2010, pp. 55– 71.
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 XLIV международной конференции и XIV международной конференции молодых учёных IT + S&E`16. С. 188–195.
5. *Ковалевский В.В., Тубанов Ц.А., Фатьянов А.Г., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Базаров А.Д.* Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал – Улан-Батор, Монголия // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015: материалы междунар. науч. конф. Т. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С. 186–190.
6. *Dmitry Karavaev, Boris Glinsky, V. Kovalevsky.* A technology of 3D elastic wave propagation simulation using hybrid supercomputers // CEUR Workshop Proceedings of the 1st Russian Conference on Supercomputing - Supercomputing Days 2015. –Moscow, Russia, 2015. September 28-29. pp. 26–33.
7. *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. Вып. № 25. С. 94–98.

8. Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационно-аналитическая система для вибросейсмических исследований // Проблемы информатики. –Новосибирск, 2013. № 3. С. 22–29.

9. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Загорюлько Г.Б. Организация портала знаний «Активная сейсмология» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015: мат. междунар. науч. конф. Т. 1. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 2. С. 19–24.

10. Загорюлько 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.

Application of geoinformation technologies in vibro-seismic researches

Valeriy Victorovich Kovalevskiy, Doctor of Technical Science, Deputy Director, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Lyudmila Petrovna Braginskaya, Lead Programmer, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Andrey Pavlovich Grigoryuk, Researcher, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Alexey Gennadievich Fatyanov, Doctor of Phys.-Math. Science, Head of Laboratory, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Dmitry Alekseevich Karavaev, Candidate of Phys.-Math. Science, Researcher, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

The article deals with the fundamentals of the vibroseismic research method and the application of geoinformation technologies in problems of studying the deep structure of the Earth's crust, monitoring geodynamic processes in seismically active areas, geophysical and engineering applications. The scientific information service presented in the article (<http://opg.sccc.ru>), developed in the ICMMG SB RAS, provides a holistic view of the subject area and various aspects of scientific activity in active seismology, covering all the main stages of scientific research: experiment, modeling, bibliography, publication of the results and their discussion.

Key words: vibroseismic research, Earth's crust, geodynamic processes, active seismology, scientific information system, ontology, knowledge portal.

УДК 528.852

МОДЕЛЬ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Алексей Александрович Бучнев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
e-mail: baa@ooi.sccc.ru,*

*Валерий Павлович Пяткин, д-р техн. наук, профессор,
зав. лабораторией обработки изображений,
e-mail: pvp@ooi.sccc.ru,*

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
<http://loi.sccc.ru>*

*Фёдор Валерьевич Пяткин, мл. науч. сотр.,
e-mail: fep@ya.ru,
Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета»,
<http://www.rcpod.ru>*