## Отчет по этапам НИР, завершенным в 2012 году в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.4.1.3.** «Математическое моделирование, теоретические и экспериментальные исследования по развитию геоинформационных и Интернет технологий для задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования»

(№ госрегистрации 0120.1002445)

(Научные руководители — д.т.н. В.В. Ковалевский, д.т.н. В.П. Пяткин)

Раздел 1. Математическое моделирование волновых полей и процессов вибросейсмического зондирования и мониторинга сейсмо-вулканоопасных зон. Численное моделирование, создание программно-алгоритмических средств обработки данных и проведение экспериментальных вибросейсмических исследований в сейсмо-вулканоопасных зонах Разработка информационно-аналитических систем в области активной сейсмологии.

(Руководитель — д.т.н. В.В. Ковалевский)

Для математического моделирования вибросейсмических полей различной природы в сложно построенных средах выполнена разработка параллельного алгоритма и программного обеспечения для численного моделирования 3D сейсмических полей в неоднородных упругих средах на гибридных архитектурах. Решение прямой геофизической задачи основано на решении системы уравнений теории упругости, записанной в терминах вектора скоростей смещения и тензора напряжений. В качестве метода решения использован разностный метод, адаптированный для трехмерного варианта. Разработана параллельная реализация алгоритма и программа для использования гибридных кластеров, в состав которых входят вычислительные узлы с GPU (Graphics Processor Unit). Для этого параллельный алгоритм был реализован на языке C++ c использованием MPI (Message Passing Interface) и технологии CUDA (Compute Unified Device Architecture). Разработаны программы: с использованием CPU, с использованием CPU и GPU. Для изучения возможности использования GPU для численного моделирования 3D сейсмических полей проведено сравнение работы программ по времени затраченному для вычислений. На тестовой модели на кластере НКС-30Т+GPU ССКЦ СО РАН показано, что использование CPU и GPU, комбинации MPI и CUDA, для проведения эффективных вычислений для представленного метода дает лучшие результаты по сравнению с использованием только CPU.

Выполнены экспериментальные вибросейсмические исследования по активной сейсмологии в Алтае-Саянском и Байкальско-Монгольском регионе.

В 2012 году продолжены работы по исследованию характеристик волнового поля мощного вибратора СВ-100, расположенного на Южно-Байкальском вибросейсмическом полигоне СО РАН, п. Бабушкин, для целей вибросейсмического зондирования глубинных структур Монголо-Сибирского региона. Исследованы характеристики волнового поля сейсмовибратора в режиме излучения свип-сигналов и гармонических сигналов с регистрацией излучаемых волн на двух региональных профилях: Бабушкин – Сухэ-Батор – Дархан – Улан-Батор от 205 км до 500 км в южном направлении от источника и Бабушкин – Сухэ-Батор – Орхон-Тола от 205 км до 356 км в юго-юго-западном направлении от источника. Регистрация осуществлялась малыми сейсмическими группами с линейной расстановкой в каждой точке профиля. Определены амплитудные, энергетические и частотные характеристики вибрационных сейсмограмм и гармонических сигналов в зависимости от расстояния от вибратора. Впервые определены закономерности затухания амплитуд волн в земной коре на удалениях от 200 км до 500 км от вибрационного источника сейсмических волн.

Исследованы сезонные вариации волнового поля вибратора ЦВО-100 на Южнобайкальском полигоне СО РАН на основе анализа данных вибросейсмического мониторинга Байкальской риф товой зоны. Выделен летний временной период резонансного возрастания мощности излучения в диапазоне частот 6,5–7 Гц. Исследована закономерность изменения максимума мощности и резонансной частоты во времени. На основе анализа вибрационных сейсмограмм, регистрируемых сейсмостанциями региональной сети Хурамша (HRM) и Тырган (TRG) предложен алгоритм коррекции спектров сейсмограмм для компенсации сезонных вариаций и выделения долговременных трендов.

Проведено экспериментальное исследование особенностей распространения сейсмических и акустических волновых полей, порождаемых центробежным вибратором ЦВ-40 Быстровского полигона СО РАН и взрывами, проводимыми на Шиловском полигоне (Новосибирская обл.) в период июнь - октябрь 2012 г. Изучены особенности регистрации акустических волновых полей с помощью сейсмических датчиков: магнитоиндукционных СК1-П, GS-3, молекулярно-электронных СМЕ-3011. Оценены эффекты пространственной фокусировки акустических волновых полей от ЦВ-40 и взрывов в зависимости от метеоусловий. Получены количественные характеристики эффекта фокусировки акустических полей в области инфранизких частот под влиянием направления и силы ветра. Выполнено оценивание удельной акустической энергии от взрывов и сопоставление их с предельно допустимыми значениями по условиям геоэкологической безопасности.

Проведена модернизация комплекса программно-алгоритмических средств, разработанных для обработки данных вибросейсмических экспериментов на основе усовершенствования пользовательского интерфейса и расширения набора встроенных функций. Комплекс программ обработки вибросейсмических данных включает: интерактивную систему обработки сейсмических данных "Астра", выполненную как комплект инструментальных средств, который поддерживает широкий диапазон операций по обработке сейсмотрасс в интерактивном режиме; многофункциональную компьютерную программу V12, предназначенную для обработки, анализа и визуализации записей сейсмических сигналов (сейсмотрасс) и программную систему цифровой обработки сигналов SeismoDetector.

Развиты алгоритмы определения параметров сейсмических волн на основе вейвлет-фильтрации, обратной фильтрации Винера-Колмогорова, фрактального подхода, применением алгоритмов поисковой оптимизации и взвешенной порядковой фильтрации. В задачах обработки сигналов области исследований были разделены, с одной стороны – на различные аспекты статистической обработки, анализа и восстановления зашумленных частотно-модулированных сигналов как одномерных временных рядов, и с другой – на развитие компьютерной системы поддержки соответствующей обработки и анализа таких сигналов. По первому направлению сформулированы формально-логические правила анализа кластерных образований сигнала для целей оценки периода его существования и локализации на временной шкале. По второму направлению работы – компьютерная система поддержки обработки и анализа периодических сигналов развита в части расширения ее функциональных возможностей.

Продолжено развитие геоинформационных и Интернет технологий для задач активной сейсмологии и вибросейсмического мониторинга сейсмо-вулканоопасных зон. Разработана концепция Интернет-ориентированной научной информационной системы для комплексного информационного обеспечения теоретических и экспериментальных исследований сейсмического поля, позволяющей охватить все основные этапы научных исследований: эксперимент, моделирование, публикацию результатов и их обсуждение. В рамках данной концепции развивается разработанный Интернет-ресурс «Активная сейсмология» (<http://opg.sscc.ru>). В качестве программной платформы использована современная система управления содержимым сайта (CMS - Content Management System) Joomla. В настоящее время Информационная система "Активная сейсмология" предоставляет пользовательские сервисы по базе данных научных работ — электронной библиотеке, библиографическому каталогу публикаций, базе данных экспериментов, программам обработки данных и моделированию. Файловый архив ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли», включенной в Интернет-ресурс «Активная сейсмология» содержит данные полевых экспериментальных данных 2006–2012 гг. В 2012 году введены данные, полученные в ходе экспериментов вибросейсмического зондирования на профилях Байкал – Улан-Батор и регистрации акустических и сейсмических полей взрывов Шиловского полигона. Объем архива — около 40000 сейсмотрасс.