## Отчет по этапам НИР, завершенным в 2011 году в соответствии с планом НИР института

**Проект НИР 1.4.1.2.** «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-вулкано опасных зон. Численное моделирование, создание программно-алгоритмических средств обработки данных и проведение экспериментальных вибросейсмических исследований в сейсмо-вулкано опасных зонах. Разработка информационно-аналитических систем в области активной сейсмологии.

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

Выполнено математическое моделирование вибросейсмических полей различной природы в сложно построенных средах, ориентированных под трёхмерную геометрию объекта. Численное моделирование проводится на основе решения полной системы уравнений теории упругости с соответствующими граничными и начальными условиями. В качестве метода решения представленной системы уравнений выбран разностный метод, адаптированный для трехмерных вариантов. Для моделирования распространения упругих волн адаптированы и использованы специализированные методы и алгоритмы поглощающих границ (Perfectly Matched Layers, Complex frequency shifted convolution Perfectly Matched Layers) для исключения отражений упругих волн от границ расчетной области. Разработанный комплекс программ использовался для проведения численных экспериментов на многоядерных вычислительных системах ЦКП ССКЦ ИВМиМГ СО РАН. Для моделирования использовался кластер НКС-30Т. Проводились тестовые расчеты по выбору наиболее подходящей параллельной реализации программы для данной архитектуры кластера и предложенной параллельной схемы. На основе разработанного комплекса проведены эксперименты по разработке трехмерной модели изучаемого вулкана, а также изучению структуры сейсмического поля при вибросейсмическом просвечивании вулкана. Развивается технология численного моделирования в геофизике с применением графических процессоров. Для реализации трудоемких параллельных алгоритмов на больших объемах данных отлажены механизмы написания комплексных программ, выполняющихся параллельно на центральных и графических процессорах Nvidia (GPU) в среде программирования Microsoft Visual Studio с добавлением библиотек Intel MKL и специализированных библиотек для работы с видеокартами CUBLAS и CUFFT.

Выполнены экспериментальные исследования геодинамических процессов Байкальской рифтовой зоны, сейсмоактивных районов Алтае-Саянского региона и вулканических зон на основе исследования сейсмичности, данных активного вибросейсмического мониторинга, наблюдений на сети стационарных и временных станций, расположенных в этих районах. В 2011 году начаты работы по исследованию характеристик волнового поля мощного вибратора для целей вибросейсмического зондирования глубинных структур Монголо-Сибирского региона. В качестве источника сейсмических волн использовался вибратор СВ-100, расположенный на Южно-Байкальском вибросейсмическом полигоне СО РАН, п. Бабушкин. Регистрация осуществлялась на шести профилях длиной 1-2 км на удалениях 200, 300, 350, 400, 450 и 500 км от источника.

Для измерения вибросейсмических колебаний нанометрового уровня были проведены эксперименты по регистрации сейсмических колебаний от вибратора ЦВ-40 на удалении 342 км с расстановкой 17-ти сейсмоприемников типа СК1-П в виде креста. С применением обработки исходных данных с помощью алгоритмов корреляционной свертки и синфазного сложения были выделены преломленные сейсмические волны и измерены их амплитуды колебательной скорости, составившие около 0.8 нМ/с. С учетом полученных результатов дополнительно оценены параметры экспоненциального закона затухания уровней волн по расстоянию, проведен сопоставительный анализ их с уровнями волн, полученных от взрыва мощностью 1т.

С целью измерения уровней сейсмических и акустических волн, а также соотношения между ними на разных азимутальных направлениях с учетом направления и силы ветра, выполнены эксперименты по регистрации обоих типов волн от вибратора ЦВ-40 и карьерных взрывов в районах разрезов Майский и Виноградовский Кемеровской области с круговой расстановкой сейсмодатчиков по отношению к источникам (среднее радиус 6 км от источников). Эксперименты выполнялись для определения азимутальной направленности акустического поля в зависимости от направления и силы ветра, а также оценивания роли рельефа местности на распространение акустических колебаний.

На основе анализа многолетних данных вибросейсмического мониторинга Байкальской рифтовой зоны с использованием виброисточника ЦВО-100 исследованы сезонные вариации характеристик сигналов, излучаемых вибратором и характеристик вибрационных сейсмограмм, регистрируемых сейсмостанциями локальной и региональной сети. Были обработаны записи колебаний грунта в ближней зоне вибратора при излучении свип-сигналов за период с августа 2003 г. по март 2006 г. В период ноябрь-май амплитуда сигнала вибратора имеет монотонный вид с максимумом в конце рабочего диапазона на 10 Гц. В июне увеличивается амплитуда в среднем диапазоне с максимумом в районе 7 Гц. В июле-сентябре максимум амплитуды в районе 6,5-6, 8 Гц, далее в октябре график аналогичен июньскому с максимумом около 7 Гц. Такое изменение характера излучения вибратора напрямую связано с промерзанием грунта в месте его установки.

Рассмотрены задачи обеспечения высокоточного определения параметров сейсмических волн, порождаемых источниками на фоне сейсмических шумов. В основе решения задачи лежат алгоритмы поисковой оптимизации, точность работы которых предлагается повысить с помощью методов предварительной обработки исходных записей сейсмических сигналов. На первом этапе использовались два алгоритма: алгоритм обратной фильтрации, основанный на решении уравнения Колмогорова-Винера, и вейвлет-фильтрация. Использование этих алгоритмов позволяет поднять контрастность вступлений волн. На втором этапе использовался алгоритм поисковой оптимизации, основанный на динамическом программировании и энергетическом критерии качества суммирования волн. Для повышения точности определения изучались и другие апостериорные алгоритмы определения времен вступления сейсмических волн, имеющие различные формы. Эффективность выполненных разработок иллюстрировались по отношению к проблеме локации удалённых промышленных и ближних полигонных взрывов.

Продолжена разработка информационно-аналитической системы для задач вибросейсмического зондирования очаговых и вулканических зон с использованием мощных вибраторов. Создан и размещен на web-сервере Лаборатории геофизической информатики (http://opg.sscc.ru) информационный Интернет-ресурс по активной сейсмологии. Произведена тонкая настройка внутренних и встраиваемых внешних модулей ресурса. Выполняется администрирование, включающее присвоение статуса пользователям. Создан и наполняется тематический библиографический справочник (более 200 позиций). В НИС «Активная сейсмология» интегрированы разработанные ранее ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» и «Землетрясения Камчатки». В базу данных и файловый архив ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» введена информация, полученная в ходе экспериментов «Карабетова гора» и «Байкал». Вводятся данные, полученные в ходе экспериментов 2010-2011 гг. (мониторинг вулкана Эльбрус, вибросейсмического зондирования глубинных структур Монголо-Сибирского региона). Разработан вычислительный модуль для анализа данных «Ранговый фильтр», web-формы для ввода поисковых запросов и усовершенствован пользовательский интерфейс.