**Краткий итоговый научный отчет по проекту РФФИ 09-07-12075-офи\_м**

|  |
| --- |
| ***Название проекта***  Проведение теоретических и экспериментальных исследований в интересах создания комплекса современных высокоразрешающих вибрационных геотехнологий активного мониторинга геодинамических процессов в Земной коре |
| ***Руководитель проекта*** Хайретдинов  Марат  Саматович |
| ***Аннотация***  Основная цель проекта связана с проведением комплекса междисциплинарных теоретических и экспериментальных исследований и обобщением ранее полученных результатов в интересах создания и развития современных вибрационных геотехнологий активного мониторинга геодинамических процессов в Земной коре. Такими процессами характеризуются зоны зарождения и развития природных и техногенных катастроф -в первую очередь, сейсмовулканоопасные зоны, области проведения подземных ядерных взрывов, зоны АЭС и ГЭС и др. В указанных зонах, в соответствии с современными представлениями, лежат геодинамические процессы, приводящие к образованию специфических неоднородностей в виде зон трещинообразования и флюидонасыщения, образования каверн и др. Авторами заявляемого проекта предлагается контролировать эти процессы во времени и пространстве на основе измерения и идентификации комплекса параметров сейсмических волновых полей, регистрируемых на выходах зон разрушения при регулярном зондировании их сейсмическими колебаниями от наземных вибрационных источников. Целью проекта является создание геоинформационной технологии в виде комплекса средств излучения и регистрации сейсмических волн, программных средств обработки данных и визуализации результатов. В этом направлении получены следующие основные результаты:  1. Разработана вычислительная технология в виде построителей численных моделей неоднородностей, параллельных программ и средств визуализации для моделирования распространения упругих волн в 3D и 2D упругих средах. Созданный инструментарий позволяет строить модели неоднородностей, характерные для зон многих природных и техногенных катастроф, и обнаруживать их с помощью численного моделирования процесса вибрационного зондирования среды. Проведены численные расчеты по обнаружению тестовых неоднородностей грязевых вулканов, скрытых подземных полостей (каверн) в местах проведения ядерных испытаний. Решение последней задачи является важным этапом в проблеме инспекции на месте в рамках контроля Договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Изучено влияние геометрии и параметров неоднородностей на структуру поля скоростей различного типа волн с целью выделения отличительных свойств волнового поля. На основе численного моделирования разработаны рекомендации по планированию экспериментов по сейсмическому мониторингу областей максимальных вариаций сейсмического волнового поля в зависимости от положения области, изменения параметров среды, ее размеров и длины волны гармонического сигнала. Все численные расчеты проведены с использованием разработанной параллельной программы на кластере НКС-30Т Суперкомпьютерного центра СО РАН.  2. Проведены экспериментальные работы в Алтае-Саянском регионе и Краснодарском крае с целью отработки технологии пространственной регистрации и накопления наноуровневых вибросейсмических колебаний с амплитудой колебательной скорости вплоть до долей нМ/с и изучения особенностей волновых полей и методов их количественного учета в зонах разрушения однородной среды – в зонах грязевых вулканов, тектонических разломов. На основе данных экспериментов, а также теоретических расчетов выработаны рекомендации по оптимизации структуры и параметров геоинформационной системы с целью достижения высокой чувствительности к меняющимся деформационным процессам и неоднородностям в зонах развития природных и техногенных катастроф, а также высокой помехоустойчивости при дальней «передаче-приеме» сигналов на телесейсмических расстояниях. Оптимизация достигается за счет резонансного согласования с грунтом, выбора типов зондирующих сигналов, учета частотно-зависимых свойств среды распространения волн и спектров микросейсм, выбора алгоритмов обработки. Показано, что экономия по энергетическим затратам при этом может достигнуть двух порядков. Технические требования к геосистеме определяют высокопрецезионную точность поддержания фазочастотных характеристик зондирующих сигналов со стороны вибратора и опорных (восстанавливаемых по закону формирования зондирующих сигналов) приемным устройством с допустимой относительной нестабильностью по частоте не хуже 10-8. Такое же требование накладывается на синхронизацию процессов многоканальной регистрации сейсмических сигналов в пространственно разнесенных пунктах сбора данных.  3. Разработаны и испытаны в условиях натурных экспериментов алгоритмические методы и высокоскоростные программы выделения и измерения параметров сейсмических волн нанометрового уровня на фоне многократно превосходящих внешних шумов, основанные на накоплении по пространству и множеству повторяющихся актов зондирования среды с использованием алгоритма дискретной оптимизации, обеспечивающих высокую помехоустойчивость на приеме сейсмических сигналов на расстояниях до 1000 км. Это позволило оценить закономерности затухания сейсмических волн по расстоянию. В экспериментах была оценена сравнительная чувствительность разного типа трехкомпонентных сейсмических датчиков-индукционных СК1-П, GS-3, молекулярно-электронных СМЕ-3011 и даны рекомендации по их использованию.  4. Разработана и испытана методика детального инженерно-сейсмологического обследования зданий и сооружений стоячими волнами на основе использования микросейсмических колебаний. В основу методики положен тот факт, что в любом сооружении формируется когерентное по времени поле стоячих волн. На основе использования свойства когерентности разработана технология обследования, включающая в себя выбор системы наблюдений, алгоритмы и программы обработки данных, методику интерпретации. Приводятся результаты обследования плотины Саяно-Шушенской ГЭС, отдельных зданий, иллюстрирующие высокую разрешающую способность созданной методики.  5. В результате выполнения проекта разработана и испытана в натурных условиях геоинформационная технология активного сейсмического мониторинга природной среды с применением вибрационного метода зондирования Земли, интегрирующая в себе основные этапы выбора технических и программных средств излучения и приема сейсмических волн. Результаты проведенных исследований будут способствовать созданию и развитию эффективных вибрационных геотехнологий для междисциплинарных исследований, включая технологии двойного назначения. |
| ***Полное название организации, где выполняется проект*** Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН |