**Отчет по этапам работ, завершенным в 2015 г.**

**в соответствии с планом НИР института**

**Проект НИР 0315-2014-0003** «Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ для задач активной сейсмологии и дистанционного зондирования»

Номер государственной регистрации НИР 0120.0712227.

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

**Раздел 1.** Математическое моделирование, разработка новых численных методов, алгоритмов и программ в задачах активной сейсмологии, экспериментальные исследования по вибросейсмическому зондированию и вибромониторингу среды. Моделирование и исследование взаимодействия сейсмических и акустических волновых полей вибрационных и взрывных источников с целью оценивания экологических рисков. Разработка новых алгоритмов и программ обработки данных вибромониторинга на основе регистрации малыми сейсмическими группами. Исследования волновых вибросейсмических полей и их связи с геодинамическими процессами в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне, сопредельных районах Монголии и в зонах вулканических структур. Развитие научной информационно-аналитической системы на базе интернет-технологий для задач активной сейсмологии.

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

Адаптированы и реализованы в виде вычислительных программ новые алгоритмы численного моделирования распространения упругих волн в двухмерных неоднородных средах в терминах скоростей перемещений и в терминах перемещений. Проведены тестовые расчеты разработанных программ на моделях однородных сред. Проведена доработка программы создания двухмерной модели по экспериментальным данным в скважинах для моделирования Байкальской рифтовой зоны. Разработана двумерная неоднородная геофизическая модель строения Байкальской рифтовой зоны на основе экспериментальных данных. Проведены расчеты по математическому моделированию волновых полей с большими базами наблюдений до 500 км от источника для модели Байкальской рифтовой зоны.

Продолжены исследования волновых вибросейсмических полей в связи с геодинамическими процессами в Байкальской рифтовой зоне и сопредельных районах Монголии. Подготовлена база данных проведения вибросейсмического мониторинга в южной и юго-восточной части Прибайкалья на трассах виброзондирования Бабущкин-Тырган (105 км) и Бабушкин-Хурамша (67 км). База данных включает все вибрационные сейсмограммы за период 2003-2014 гг. Разработан алгоритм и программа коррекции сезонных вариаций сейсмограмм на основе преобразований их спектров с использованием базисного набора сейсмограмм по месяцам года.

Разработан новый высокоэффективный алгоритм для обработки вибросейсмических сигналов на основе пространственно-временной фильтрации сигналов, зарегистрированных малыми сейсмическими группами. Алгоритм основан на веерной фильтрации, широко используемой в сейсморазведке для выделения волн в заданном интервале частот и кажущихся скоростей. При вибросейсмическом зондировании веерная фильтрация не нашла применения из-за низкого соотношения сигнал/шум и невозможности в связи с этим определения интервала кажущихся скоростей полезных волн *Vk1 < Vk < Vk2* на пространственно-временном спектре. Было предложено определять кажущиеся скорости методом регулируемого направленного приема (РНП), который обеспечивает хорошее соотношение сигнал/шум, но эффективен только для фиксированной скорости. При необходимости можно использовать дополнительное взвешивание сейсмотрасс методом, описанным в отчете лаборатории за 2014 год. Определив по суммоленте РНП необходимый интервал скоростей, применяем стандартный алгоритм веерной фильтрации.

На основе предложенного алгоритма было разработано программное обеспечение и проведено выделение основных сейсмических фаз на расстояниях до 500 км по данным вибросейсмических исследований литосферы Байкальской рифтовой зоны.

Выполнены исследования методами математического моделирования характеристик направленности подземной сейсмической группы (антенны) из 6 сейсморегистраторов с площадной апертурой 2.5 км на 0.5 км, развернутой в штольне БНО ИЯИ РАН в Приэльбрусье. Основное внимание уделено исследованию погрешности определения гипоцентров локальных сейсмических событий в зависимости от расстояния и азимута относительно оси сейсмической группы и от погрешностей определения времен вступлений волн. При выделении сейсмических волн локальных сейсмических событий методом корреляционного анализа были определены коэффициенты взаимной корреляции участков Р и S волн на различных компонентах сейсмоприемников сейсмической группы и времена вступлений. Анализ проводился в диапазоне частот 10-20 Гц после фильтрации сейсмотрасс. Для волны Р коэффициенты взаимной корреляции лежат в пределах 0,87-0,97, для волны S эти значения составляют 0,91-0,99. Точность определения времен вступлений Р и S волн составляет 0,01 сек. Это позволяет достаточно точно определить времена вступлений волн на различных сейсмоприемниках группы. С использованием разработанного программного обеспечения был выполнен анализ взаимной корреляции микросейсмического шума на различных компонентах сейсмоприемников сейсмической группы. Значения коэффициентов корреляции шума между различными датчиками лежат в пределах 0,12-0,27 с превышением максимального значения для нескольких компонент.

Выполнены исследования в рамках фундаментальной проблемы взаимосвязи разнородных геофизических полей – сейсмических, акустических, метеорологических – в приложении к прогнозированию геоэкологических рисков, обусловленных природно-техногенными взрывами. Выделены и проанализированы информативные факторы взаимосвязи полей, определяющие возрастание либо ослабление разрушительных эффектов от взрывов. Они положены в основу разрабатываемой многофакторной модели, интегрирующей процессы взаимодействия геофизических полей. В качестве основных инструментов решения проблемы используются численное моделирование и вибрационные геотехнологии. Выполнена большая серия натурных экспериментов. Полученные здесь результаты будут способствовать уточнению модели и выявлению особенностей механизмов взаимосвязи полей.

Разработаны и проанализированы апостериорные вычислительные алгоритмы дискретной оптимизации, обеспечивающие в режиме постобработки (off-line) увеличение в задачах геофизического мониторинга точности измерения и выделения параметров волновых форм в шумах в сравнении с последовательными алгоритмами (on-line).

Выполнены исследования по разработке методов и средств прогнозирования чрезвычайных ситуаций и снижения рисков от мощных техногенных и природных взрывов. Последние являются одновременно мощными источниками инфранизкочастотных сейсмических колебаний в земле и акустических в атмосфере. Есть ряд природных факторов, которые наряду с фундаментальными факторами затухания акустических колебаний (геометрическим законом сферического расхождения волнового фронта, влиянием неоднородной атмосферы) приводят к дополнительному снижению уровней акустических колебаний и тем самым к уменьшению уровней экологических рисков разрушений. К числу таких факторов относятся снежный покров, лесные массивы, рельеф поверхности Земли (горы, холмы) и др. Отличительная особенность решения задач состоит в том, что их поиск ведется в области инфранизких частот – области повышенных экологических рисков от взрывов и природных катастроф, что является малоизученным. В рамках сформулированной проблемы предлагаемая для решения фундаментальная задача направлена на поиск и анализ комплекса информативных снижающих факторов взаимодействия геофизических полей разной природы и определение их вклада в снижение экологических рисков для окружающей социальной инфраструктуры, обусловленных массовыми техногенными и природными взрывами.

Разработана база данных численного моделирования волновых полей на больших базах наблюдений в составе НИС «Активная сейсмология». База данных пополнена математическими моделями 2D скоростных разрезов и снимками волнового поля для Байкальской рифтовой зоны и Таманской грязевулканической провинции. База данных и файловый архив экспериментов поддерживалась в актуальном состоянии.

Актуализирована база экспериментальных данных и электронная библиотека информационно-аналитической системы «Активная сейсмология». Выделены основные понятия предметной области (ПО) «Активная сейсмология», построенные на основе метапонятий онтологии научного знания и установлены связи между ними для представления результатов, объектов и методов исследований. Введены новые классы понятий (Источник, Воздействие, Сенсор), характерные для данной области исследований и описывающие параметры сейсмического воздействия, источники сейсмических волн, сенсоры и их географическое местоположение. Разработанная классификация области является основой для обеспечения целостного представления знаний об активной сейсмологии и установления взаимосвязей между относящимися к этой науке событиями, объектами, результатами и методами исследования.

Проведена классификация разделов науки «Активная сейсмология» на основе анализа отечественных и зарубежных коллективных монографий по активной сейсмологии, рубрикаторов сайтов, тематических конференций, электронных библиотек научных организаций, работающих в ПО. Класс понятий «Раздел науки активной сейсмологии» отражает иерархию направлений научной деятельности. Произведена реорганизация рубрикатора электронной библиотеки, входящей в состав информационно-аналитической системы «Активная сейсмология» на основе разработанного классификатора.