

## Президента Российской Федерации

В 2014 году Институт принимал активное участие в работе по 4 проектам гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – молодых кандидатов наук.

**Проект Геофизический неразрушающий контроль и прогноз потенциально опасных процессов в природных и промышленных объектах с целью предупреждения разномасштабных экологических катастроф и аварий (МК-7132.2013.5, срок действия – 2013-2014 гг., руководитель – к.т.н. Балков Е.В.).**

Проблема, на решение которой направлен проект, заключается в изучении способов предотвращения разномасштабных природных и техногенных катастроф. Конечная цель исследований состоит в предупреждении экологических катастроф и аварий при эксплуатации естественных и промышленных объектов.

Задачи в рамках сформулированной проблемы заключаются в систематизации предвестников различных экологических катастроф и аварий, а также создании научно-обоснованной методологии неразрушающего контроля состояния потенциально опасных природных и промышленных объектов с помощью новых геофизических и геохимических технологий. Поставленные задачи могут быть успешно решены в ходе изучения структуры и свойств исследуемых объектов с помощью комплексного применения современных электроразведочных методов - малоглубинных электромагнитных зондирований в частотном и изопараметрическом вариантах, метода незаземленной петли, метода электротомографии на постоянном токе, а также геохимического анализа состава отдельных элементов.

В результате проведенных теоретических, лабораторных и экспериментальных работ в рамках исполнения проекта получены следующие результаты:

- усовершенствовано программно-алгоритмическое обеспечение для моделирования и трансформации данных радиально-частотного зондирования путем оптимизации параметров интегрирования;

- выполнена разработка аппаратуры, реализующей метод незаземленной петли, генераторный и измерительный блоки которой синхронизованы по высокоточным сигналам GPS;

- в результате комплексного применения методов электротомографии, частотного зондирования и геохимического анализа на ряде промышленных объектов, представляющих собой хранилища отходов горно-обогажительных комбинатов (Кемеровская и Челябинская обл.) в 2013-2014 гг., показана эффективность такого подхода для анализа экологических рисков при эксплуатации данных хранилищ, а также для подсчета ресурса ценных компонентов

- методы электротомографии и частотного зондирования были успешно применены для изучения структурных дефектов дамбы канала Сатпаева (Казахстан) и провала дорожного полотна на одной из федеральных трасс (п-ов Крым).

В целом в ходе проекта были достигнуты положительные результаты при разработке новых аппаратурных решений, реализующих малоглубинные методы геофизики. В результате представительной выборки комплексных экспериментальных геофизических и геохимических работ была доказана эффективность применяемых методов и способов их комплексирования при неразрушающем контроле и прогнозе потенциально опасных процессов в природных и промышленных объектах.

**Проект Моделирование упругих колебаний среды в окрестности фронтов сейсмических волн при решении томографических задач геофизики (МК-**

**2598.2014.5, срок действия – 2014-2015 гг., руководитель – к.ф.-м.н. А.С. Сердюков).**

Проект направлен на развитие томографических методов определения скоростной модели среды по данным прямых волн при решении задач сейсмологии и микросейсмического мониторинга гидроразрыва нефтепродуктивных пластов. Для этого предлагается использовать метод сопряженной томографии, основанный на обратном продолжении волнового поля. Этот метод позволяет повысить разрешение получаемых скоростных моделей по сравнению с лучевой томографией, но требует гораздо больше вычислительных ресурсов.

Задачей проекта является разработка новых подходов к быстрому численному моделированию целевых волн для дальнейшего использования в сопряженной томографии на основе обратного продолжения волнового поля. Разработанный в рамках выполнения первого этапа исследований метод моделирования сейсмических волн основан на комбинировании двух численных методов. Во-первых, проводится расчет времен пробега (положение фронтов) целевых волн на основе конечно-разностного решения уравнения эйконала. Во-вторых, уравнения упругости решаются методом конечных разностей только в окрестности найденного фронта волны, т.е. в бегущей за фронтом узкой полосе. Это позволяет проводить выборочное моделирование динамики отдельных волн в неоднородных средах значительно быстрее по сравнению с решением уравнений упругости во всей модельной области. При этом уравнения в окрестности фронта решаются без использования высокочастотной аппроксимации.

В результате проведенных исследований в рамках исполнения первого этапа проекта получены следующие научные результаты:

- разработан новый метод быстрого моделирования упругих колебаний в окрестности фронтов первых вступлений, основанный на комбинировании численного решения уравнения эйконала методом fast marching и конечно-разностной схемы решения волновых уравнений упругости на сдвинутых сетках.

- разработано несколько алгоритмов реализации разработанного метода моделирования в двумерных средах. На основе сравнительного анализа показано, что оптимальным подходом является использование алгоритма на основе сортировки точек расчетной сетки по возрастанию времени пробега.

- разработана методика приложения нового подхода моделирования в рамках задачи восстановления свойств упругой среды методом волновой томографии. Перспективность применения методики продемонстрирована на серии численных экспериментов.

В дальнейшем планируется:

- обобщить предложенную методику моделирования волновых полей на случай трехмерных упругих сред с учетом сейсмической анизотропии и поглощения.

- разработать научно-исследовательскую версию программной реализации метода волновой томографии на основе предлагаемого алгоритма прямого моделирования, провести апробацию разработанных алгоритмов и программ.

- создать методические рекомендации по возможности использования результатов проведенных работ для научно-производственной деятельности.

**Проект Разработка эффективных методов построения дифракционных сейсмических изображений в районах со сложным геологическим строением**

**(МК-2909.2014.5, срок действия – 2014-2015 гг., руководитель – к.ф.-м.н. М.И. Протасов).**

Рассматриваемый проект направлен на разработку методов построения дифракционных сейсмических изображений для надежного выделения и картирования малоамплитудных рассеивающих/дифрагирующих объектов с количественной оценкой их контрастности в районах со сложным геологическим строением.

В рамках всего проекта были сформулированы следующие основные задачи.

1. Разработать метод выделения рассеянных продольных и поперечных волн на фоне интенсивных отражений от регулярных границ раздела на основе использования обращенного продолжения волновых полей по Гауссовым пучкам. Оценка решающей способности.

2. Разработать метод удаления регулярных отражённых компонент волнового поля непосредственно из селективных изображений на основе спектрального анализа селективных изображений.

3. Разработать частотно-зависимые асимптотические решения задачи прохождения волновых полей через неплоские контрастные границы.

4. Разработать эффективные модификации построения изображений рассеивающих объектов в истинных амплитудах с использованием динамического трассирования Гауссовых пучков из внутренних точек среды на основе частотно-зависимых решений и на основе конечно-разностных решений.

5. Разработать метод оценки физических характеристик рассеивающих/дифрагирующих объектов на основе анализа сингулярного разложения оператора изображения.

Результаты научной работы, полученные за отчетный период.

1. Разработан алгоритм выделения рассеянных волн на фоне интенсивных отражений регулярных границ на основе использования Гауссовых пучков, а также на основе спектрального анализа селективных изображений. Используя различные комбинации Гауссовых пучков в зависимости от угла наклона, получены селективные изображения. Далее используя различные спектральные свойства рассеивающих и отражающих элементов, реализовано спектральное удаление отражающих объектов. В итоге разработан инструмент, который позволяет надёжно локализовать рассеивающие объекты.

2. Получены точные решения, описывающие частотно-зависимые лучи. Реализовано программное обеспечение для расчёта частотно-зависимых лучей. Проведена серия численных экспериментов для ряда моделей, где сделано сравнение стандартных высокочастотных лучей и полученных частотно-зависимых.

В дальнейшем предполагается построить эффективные алгоритмы расчёта полученных точных частотно-зависимых решений в сложноустроенных средах. А затем использовать частотно-зависимые лучи для построения дифракционных изображений в сложноустроенных средах.

Кроме того, предполагается реализовать метод оценки физических характеристик рассеивающих/дифрагирующих объектов на основе анализа сингулярного разложения оператора изображения.

**Проект Техногенные системы: мониторинг и прогноз воздействия на биосферу по данным геофизической съемки и геохимических исследований (МК-5724.2014.5, срок действия – 2014-2015 гг., руководитель – к.г.-м.н. Н.В. Юркевич).**

Проблема, на решение которой направлен проект, заключается в прогнозировании эволюции состава хвостохранилищ горнорудного производства и выявлении механизмов миграции токсикантов с водным потоком. Конечной целью исследований в области геохимии техногенных систем является минимизация их вредного воздействия на окружающую среду.

Конечная цель исследований состоит в разработке комплексных методов оценки, контроля и прогнозирования чрезвычайных экологических ситуаций, обусловленных деятельностью горнорудных и угледобывающих предприятий.

Задачи в рамках сформулированной проблемы заключаются в 1) оконтуривании тела техногенной системы, определении зональности хвостохранилища и путей распространения дренажных потоков геофизическими методами; 2) геохимическом опробовании вещества отходов с учетом геоэлектрических свойств среды и измерения *in-situ* физико-химических параметров исследуемого вещества; 3) построении модели строения хвостохранилищ с учетом установленных зависимостей между геоэлектрическими и геохимическими параметрами среды; 4) оценке экологического ущерба водным и земельным ресурсам. Поставленные задачи могут быть успешно решены в ходе изучения складированных сульфидных отходов Салаирского горно-обогатительного комбината СГОК, Беловского цинкового завода БЦЗ, Карабашского медеплавильного комбината КМК, Комсомольской золото-извлекательной фабрики КомЗИФ при помощи комплекса геохимических и геофизических методов анализа среды (естественной поляризации (ЕП), индукционного частотного зондирования (ЧЗ) и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)).

В результате проведенных теоретических, лабораторных и экспериментальных работ в рамках исполнения первого этапа проекта получены следующие результаты:

- определено внутреннее строение исследуемых техногенных тел: оконтурены зоны с низким УЭС путем частотного зондирования складированных сульфидных отходов и геохимического изучения вещества;

- сопоставление удельного электрического сопротивления (УЭС) вещества отходов с влажностью, физико-химическими параметрами (рН, Eh) и химическим составом на основе экспериментальных и фактических данных позволили выявить численные взаимосвязи УЭС – влажность, УЭС – рН, УЭС – Eh, УЭС – концентрация металлов в пробе. Полученные уравнения позволяют оценивать состав хвостохранилищ по данным электроразведки о проводимости грунтов;

- грунтовые воды в районе складирования пиритовых песков кислые (рН 4.5) содержат повышенные концентрации металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Ni, Cr) и сульфат-ионов (до 15 г/л), что подтверждено данными геохимического опробования (табл. 1). Формы нахождения металлов представлены подвижными акваионами и сульфатными комплексами, что свидетельствует о возможности их последующей миграции;

- направления подземного и поверхностного стоков с хвостохранилищ прогнозируются при помощи комплекса геофизических методов с верификацией геохимическим опробованием контрастных геоэлектрических зон;

- проведены расчеты экологического ущерба водным и земельным ресурсам, который наносится загрязняющими веществами, содержащимися в складированных сульфидных отходах Беловского цинкового завода (Кемеровская область). В результате расчётов была получена суммарная оценка экологического ущерба от загрязнения водных и земельных ресурсов территории ОАО «Беловского цинкового завода», а также прилегающих территорий в размере 9 422,6 млн рублей.