

Президента Российской Федерации

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).

Работа является продолжением исследований, начатых в 2014 году. Ранее был предложен и реализован в двумерном случае новый метод моделирования сейсмических волновых полей в окрестности фронтов первых вступлений. В рамках предложенного подхода вначале рассчитывается время пробега первых вступлений волн на основе численного решения уравнения эйконала. Потом на каждом шаге по времени система уравнений упругости решается только в узкой полосе, следующей непосредственно за фронтом первых вступлений. В 2014 г. было показано, что наиболее эффективным методом реализации рассматриваемого подхода является использование алгоритма упорядочивания и пересортировки всех используемых массивов по возрастанию значения времен пробега. В 2015 г. удалось реализовать метод оконных вычислений в трехмерной среде. При этом для ускорения вычислений времен пробега (необходимых для работы алгоритма) была специально разработана новая эффективная реализация конечно-разностной схемы решения уравнения эйконала («Fast Sweeping»). По нашим оценкам, применение оконного моделирования волновых форм первых вступлений позволяет повысить скорость расчета синтетических сейсмограмм в трехмерных средах (для моделей порядка нескольких десятков длин волн в каждом направлении) более чем на два порядка. За второй год реализации проекта был проведен ряд экспериментов по тестированию эффективности алгоритма оконного моделирования в двумерных средах, проведен тщательный анализ ускорения и экономии оперативной памяти по сравнению с расчетом и хранением полного поля. Были проведены эксперименты по определению скоростей сейсмических волн методом волновой томографии в случае двумерных и трехмерных сред. Кроме того, предложены новые приложения метода оконных вычислений – миграция в обратном времени и расчет синтетических данных от источников различного типа (трещина отрыва, сдвиг) для алгоритмов обработки данных микросейсмического мониторинга. Таким образом, **результатами заключительного этапа проекта являются:**

- реализация метода моделирования упругих колебаний в окрестности фронтов сейсмических волн как в трехмерном случае на основе новой эффективной реализации схемы «Fast Sweeping».
- эксперименты по определению скоростей сейсмических волн методом волновой томографии в случае двумерных и трехмерных средах.
- методика применения и результаты тестирования разработанного метода оконного моделирования при проведении процедуры миграции в обратном времени
- методика применения и результаты тестирования разработанных алгоритмов для моделирования микросейсмических колебаний.

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 мало-

амплитудных 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 разрешающей способности.
2. Разработать метод удаления регулярных отраженных 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 характеристик рассеивающих/дифрагирующих объектов.

Первые три задачи были успешно решены в рамках проекта на первом этапе.

На втором этапе разработана модификация метода построения изображений на более сложных средах, в частности, разработан алгоритм, позволяющий работать в анизотропных средах. Разработана программная реализация метода, после алгоритм был апробирован на реалистичных данных.

Построены эффективные алгоритмы расчёта точных частотно-зависимых решений в сложно-устроенных средах, полученных на первом этапе. Проведена серия численных экспериментов для сложно-устроенных моделей, где сделано сравнение стандартных высоко-частотных лучей и полученных частотно-зависимых, а также проведено сравнение с конечно-разностными решениями.

Реализован метод оценки характеристик рассеивающих/дифрагирующих объектов на основе статистического анализа изображений. Выявлены корреляции между статическими свойствами исходной модели и статистическими свойствами изображений.

Необходимо отметить, что опубликованы 2 статьи в журнале, индексируемом Web of Science, а также 4 статьи в журналах из списка ВАК и ряд тезисов.

В дальнейшем планируется использовать разработанный метод построения дифракционных изображений для изучения выделения и характеристики трещиноватых резервуаров. А также планируется использовать разработанный метод вычисления точных частотно-зависимых лучей для построения под-солевых изображений и уточнения скоростной модели сложно-устроенных сред.

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. Юркович).

Проблема, на решение которой направлен проект, заключается в прогнозировании эволюции состава хвостохранилищ горнорудного производства и выявление 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 горно-рудных и угледобывающих предприятий.

Задачи в рамках сформулированной проблемы заключаются в 1) оконтуривании тела техногенной системы, определение зональности хвостохранилища и путей распространения дренажных потоков геофизическими методами; 2) геохимическом опробовании вещества отходов с учетом гео-электрических 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 Урского золоторудного отвала, 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 получены следующие результаты:

- разработана схема мониторинга хвостохранилищ горнорудного производства с применением геохимических и электроразведочных методов с учетом классификации неоднородного материала отходов на вещества высокой и низкой проводимости из окисленной «вторичной» и неокисленной «первичной» зон;

- выявлены вклады в общую электропроводность сульфидных отходов электропроводностей поровых растворов и минеральной структуры вещества отходов. При одной и той же влажности наибольшим сопротивлением обладают вторичные минеральные образования, наиболее проводимы пиритные пески;

- данные электротомографии верифицированы результатами прямых измерений удельного электрического сопротивления в пробах хвостов. Сравнение сопротивлений грунтов, получаемых при помощи Скала-48, прямых измерений УЭС при помощи резистивиметра Miller 400 D и электропроводности паст кондуктометром Cond 3110 в полевых условиях, показали хорошую сходимость результатов для однородной среды хвостов с крупностью частиц < 0.25 мм и влажностью 15-20 %;

- сопоставление удельного электрического сопротивления (УЭС) хвостов 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. 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 ресур-

сов территории ОАО «Беловского цинкового завода», а также прилегающих территорий в размере 9 422,6 млн рублей.

Проект Автоматизация обработки данных геофизических исследований в скважинах автономной аппаратурой с использованием акселерометров скважинного комплекса(14.W01/15/3659-МК, срок действия – 2015-2016 гг., руководитель – к.ф.-м.н. А.А. Власов).

Конечная цель исследований состоит в повышении качества каротажного материала для скважин с коллекторами малой мощности путём более точного перевода данных из временной шкалы в шкалу глубин.

Задачи в рамках сформулированной проблемы заключаются в 1) разработать технологию проведения автономного каротажа на буровых трубах с целью последующей привязки данных с учётом акселерометров каротажного комплекса; 2) реализовать алгоритм перевода данных из временной шкалы в шкалу глубин с учётом данных скважинной аппаратуры; 3) Произвести проверку работы алгоритма на данных, полученных в реальных условиях каротажа на буровых трубах. Поставленные задачи можно решить, разработав методику, которая включит в себя и минимальные требования к аппаратуре, такие как частота опроса и погрешность измерения, и способ применения разрабатываемого алгоритма.

На первом этапе работы по гранту были проанализированы технические характеристики скважинной аппаратуры автономного каротажа на буровых трубах. В рамках работы были проанализированы интересующие характеристики применяемых модулей продольных акселерометров, являющихся частью модулей инклинометрии (измерение углов положения прибора в пространстве), и модули ударных акселерометров, регистрирующие внешнее воздействие на аппаратуру. Такие модули измеряют проекцию ускорения прибора на вектор ускорения свободного падения.

На первом этапе работы предложена методика компенсации рассогласования движения верхней и нижней части колонны путем применения измерений продольных акселерометров в скважинной аппаратуре. Также разработан алгоритм корректировки перемещения прибора.