

СЕКЦИЯ 5
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ПОИСКОВ И
РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРЯМЫХ
И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ ГЕОФИЗИКИ
(ОБЗОР ДОКЛАДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ)

М.М. Немирович-Данченко
д.ф.-м.н., профессор каф. ГЕОФ ИПР ТПУ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Секция «Геофизические методы исследования Земли и поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» на XXI международном научном Симпозиуме имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» представлена 45 докладами из нескольких регионов России (от Казани и Уфы до Биробиджана и Хабаровска) и двух государств – Республики Беларусь и Республики Казахстан. Работы выполнены как студентами и аспирантами, так и преподавателями и научными сотрудниками ВУЗов, институтов и профильных предприятий. Среди докладов есть работы и по экологической геофизике, и по сейсмологии, и по вычислительным проблемам.

Можно по разному классифицировать работы геофизической секции. Например, можно их отнести к двум следующим группам. В первой группе (две трети работ) объединяются статьи, непосредственно связанные с поиском месторождений полезных ископаемых (МПИ) – как углеводородов, так и твердых МПИ. Вторая группа условно может быть отнесена к задачам сейсмологии и геодинамики. Это – своего рода предметная классификация докладов секции.

Другую классификацию можно провести, рассматривая математический аппарат, применяемый исследователями, алгоритмы численного решения задач, приемы построения всего хода компьютерного эксперимента. И здесь есть очень интересные работы.

Прежде всего, хочется выделить статью «Алгоритм сейсмической миграции в обратном времени на основе эффективного численного моделирования первых вступлений сейсмических волн» (авторы А.С. Смелов, Г.С. Чернышов, научный руководитель ст. науч. сотр. А.С. Сердюков). В ней использован оригинальный прием – решать прямую задачу эластодинамики не во всей области, а в скользящем окне с предвычисленным положением. Это дает, как показывают авторы, ускорение вычислений (до 40 раз) и экономию памяти (до 50 раз). В наше время даже экономия на первые проценты рассматривается как прорывное решение, а такой технологичный подход, который ускоряет работу и экономит оперативную память на первые порядки, имеет, конечно, большие перспективы. Интересны и другие работы, выполненные группой авторов под руководством А.С. Сердюкова. Здесь привлекаются методы, позволяющие отказаться от высокочастотной аппроксимации (метод волновой томографии), методы расчета волновых полей, основанные на использовании библиотеки решений с заданным набором функций Грина.

В последние десятилетия в решении задач геофизики все чаще используются методы оптимизации с использованием нейронных сетей, генетических алгоритмов. Одна из разновидностей решения задач оптимизации рассмотрена в работе А. А. Волковой «Комплексный анализ сейсмических и скважинных данных при изучении трещиноватых коллекторов на примере месторождения в фундаменте Западной Сибири», научный руководитель доцент В.П. Меркулов. Ею использованы результаты применения т.н. «муравьиного алгоритма» как дополнительного атрибута для выявления зон повышенной трещиноватости при постобработке данных 3D сейсморазведки в сочетании с данными каротажа.

Несколько работ, представленных в геофизической секции, основаны на численном решении задач электромагнитного зондирования.

Это работы, выполненные под руководством профессора Ельцова И.Н. (Павлова Д. М. «Интерпретация данных скважинной геоэлектрики с учетом гидродинамических параметров на примере юрского нефтяного коллектора»), доцента Сухоруковой К.В. (Копытов Е.В. «Сигналы высокочастотного электромагнитного каротажа при пересечении тонкослоистых и анизотропных моделей субгоризонтальной скважиной», Литвиченко Д. А. «Влияние эксцентриситета зондов на трансформации сигналов высокочастотного электромагнитного каротажа»), под руководством доцента Глинских В.Н. (Москаев И. А. «Численное моделирование данных высокочастотного индукционного каротажа в процессе бурения наклонно-горизонтальных скважин»), доцента Молоковой Н.В. (Коробейников П.А., Соколова А. С. «Математическая модель программного комплекса для интерпретации данных метода дипольного электромагнитного зондирования»). Во всех этих работах представлен широкий спектр подходов к решению прямых и обратных задач геоэлектрики.

Нужно еще выделить работу, стоящую на стыке геофизики и геодинамики – это работа Татауровой А. А. «Численное моделирование деформаций в складчато-надвиговых поясах», научный руководитель ведущий научный сотрудник Ю.П. Стефанов. В этой статье модель упруго-пластической среды использована для описания формирования складчато-надвиговых структур, а численная реализация базируется на конечно-разностном аналоге полной системы уравнений механики сплошных сред. Такие решения пока довольно редко встречаются

в мировой литературе применительно к задачам физики Земли.

Сейсмологические проблемы представлены в работах Чубарова Д.Л. «Расчет и анализ роли приливных сил в процессе подготовки землетрясения», Васильевой М. А. «Сейсмичность и глубинное строение тектоносферы дальневосточного региона», Шабалина В.А. «Сейсмомикрорайонирование особой экономической зоны Советская Гавань», Ислямовой А.А. «Прогноз оползнеопасных участков склона на основе моделирования поля напряжений». В последней работе численное решение прямой задачи сочетается с применением известного пакета расчета амплитудных характеристик колебаний грунта.

Настоящий обзор не может претендовать на полноту представления всей информации о докладах секции. Все работы опубликованы в трудах симпозиума, значительная часть работ будет опубликована и в других изданиях. Надеемся, что в будущем нам удастся использовать возможности социальных сетей в сочетании с веб-трансляцией для информирования широкого круга специалистов о ходе работы конференции.

УСТОЙЧИВОСТЬ АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА СЕЙСМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА К ОШИБКАМ В СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ

А.В. Азаров

*Научный руководитель, заведующий лабораторией С.В. Сердюков
Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

На практике, зачастую, используемые скоростные модели геологических сред содержат ошибки, которые влияют на результаты обработки сейсмических данных. Поэтому разработка алгоритмов, устойчивых к ошибкам в скоростных моделях является важной задачей.

В данной работе исследуется влияние ошибок в скоростной модели среды на результаты восстановления механизмов очагов при использовании методики, предложенной в [5]. В рамках данной методики рассматриваются источники с известной локацией, расположенные в горизонтально слоистой изотропной среде. Считается, что источники являются точечными, поэтому их описание производится с помощью тензора сейсмического момента M [1]. Методика состоит из двух основных этапов.

Первый этап заключается в вычисление шести полей от источников с тензором сейсмического момента, имеющим одну ненулевую компоненту (т.е. поля $u_{M_{11}}$, $u_{M_{22}}$, $u_{M_{33}}$, $u_{M_{12}}$, $u_{M_{13}}$, $u_{M_{23}}$).

Второй этап заключается в поиске комбинации шести рассчитанных полей, дающих зарегистрированное поле. Нужная комбинация ищется путем построения и минимизации функционала

$$\|u_{registr} - u_{sum}\|_2^2,$$

где $u_{registr}$ – зарегистрированное поле, $u_{sum} = \sum_{M_{ij}} w_{M_{ij}} u_{M_{ij}}$ – комбинация рассчитанных полей,

$w_{M_{ij}}$ – вес, с которым $u_{M_{ij}}$ входит в u_{sum} .

С целью получения синтетических данных, которые требуются для проведения анализа представленного алгоритма, выполнялось прямое моделирование волновых полей от точечных источников с различными механизмами очагов. Так как в рамках данной работы рассматриваются горизонтально слоистые среды, то моделирование полей целесообразно проводить с использованием методики «wavenumber integration» [3,4]. При использовании данной методики считается, что каждый слой является однородным и изотропным. Введение цилиндрической системы координат $\{z, r, \theta\}$ и рассмотрение сейсмических источников, распределенных на оси цилиндра, позволяет понизить размерность задачи, так как решение в таком случае становится независимым от координаты θ , что приводит к снижению вычислительных затрат и повышению скорости расчета синтетических сейсмограмм. Несмотря на то, что в рамках методики «wavenumber integration» вычисляются решения, не зависящие от угла ϕ , с помощью неё можно рассчитывать поля от источников с любыми механизмами [2].

Для исследования устойчивости алгоритма к ошибкам в модели среды рассматривались модели с измененными упругими параметрами. В качестве примера рассматривались только случаи, когда имеются ошибки в верхних, близких к поверхности слоях. В таблице 1 приведены точная горизонтально-слоистая модель среды и модель с измененными параметрами двух верхних слоев (модель с ошибками), которые выделены полужирным шрифтом.

В точной модели выполнялось моделирование зарегистрированных полей $u_{registr}$, в модели с ошибками рассчитывались $u_{M_{ij}}$. В качестве восстанавливаемого механизма источника рассматривался источник сдвиговой дислокации с тензором сейсмического момента, имеющим одну ненулевую компоненту M_{12} .

Данный источник устанавливался на глубину 195 метров, форма сигнала бралась в виде импульса Рикера, с центральной частотой 100 герц. Система приемников располагалась на поверхности.