

## Волновая сейсмотомография сложнопостроенных сред

Антон Колонин, АйТи Решения, 1987-2007

<http://itso.ru>

### **Постановка проблемы**

При исследовании сложнопостроенных нефтегазоносных или рудоносных структур с помощью сейсмического метода, часто приходится сталкиваться со следующей проблемой. Дифрагированные и квази-дифрагированные волны, образующиеся на разломах, интрузиях, выклинивающихся лавовых покровах, зонах трещиноватости и жильных включениях образуют сложную интерференционную картину, не поддающуюся обработке традиционными методами. Известные процедуры миграционного преобразования исходных сейсмограмм и цифровой метод регулируемого направленного приема не всегда позволяют достичь требуемых информативности, разрешающей способности и однозначности интерпретации. Основными причинами тому являются привязка указанных процедур к вертикально-слоистым моделям разреза и эффективных скоростей и недоучет комплексного вклада в формирование рассеянного волнового поля как перепадов скоростей на границах, так и локальных изменений поглощающих и рассеивающих свойств среды. Кроме того, названные подходы дают возможность лишь косвенной оценки геологического строения среды по структуре полученного в результате обработки преобразованного сейсмического поля. Для разрешения этих проблем предлагается метод волновой сейсмотомографии.

### **История и состояние вопроса**

Теоретически, в основе технологии лежит метод обращенного продолжения волновых полей в сейсморазведке, предложенный более тридцати лет назад Петрашенем и Нахамкиным и развиваемый в последующие годы Клаербоутом, Гольдиным и другими исследователями. Практические работы в этом направлении велись автором начиная с 1986 года. На раннем этапе, в 1986-1988 годах, был выполнен большой объем физического моделирования эффектов распространения сейсмических волн в гетерогенных и рассеивающих средах в ВИРГе НПО «Рудгеофизика» под руководством Н.А.Караева. Начиная с 1989 года, автор работал над разработкой метода лучевой томографии применительно к задачам сейсморазведки и электроразведки. Результатом этой работы стала программная система лучевой геофизической томографии «Геотомо», представляемая сегодня компанией АйТи Решения на интернет-странице <http://itso.ru>. Система «Геотомо» с 1989 года использовалась в геологической, горной и строительной отраслях при геологоразведочных работах и инженерно-строительных изысканиях, в различных организациях на территории бывшего Советского Союза, таких как Баженовская Геофизическая Экспедиция, АтомЭнергоПроект, Институт Горного Дела имени Скочинского - как при поисках и разведке полезных ископаемых, так и для инженерных изысканиях и обеспечения безопасности горных работ и используется по сегодняшний день.

Наряду с развитием лучевой томографии, в 1990-х годах автором был выполнен большой объем алгоритмических построений и опытных работ по созданию диффракционного или волнового варианта геофизической томографии, позволяющего учитывать рассеянную компоненту волнового поля и извлекать информацию из него. Эти работы велись в рамках существующей системы «Геотомо», с расширением ее соответствующими алгоритмами и процедурами. Однако, в то время как сама система «Геотомо» сегодня адаптирована к современным вычислительным возможностям и функционирует в среде Windows, волновые алгоритмы и процедуры, направленные на работу с рассеянной компонентой, пока остаются на уровне, законсервированном в середине 1990-х годов, в связи с отсутствием платежеспособного спроса на эти разработки.

На сегодняшний день, требуется адаптация имеющейся алгоритмической базы к современным вычислительным возможностям, интеграция ее с современными промышленными системами обработки сейсморазведочных данных методом многократных перекрытий (ОГТ) и апробация ее на эталонных геологических объектах со сложными сейсмогеологическими моделями но хорошо изученными и учтенными условиями в верхней части разреза (ВЧР), желательно при наличии опорных скважин с данными ВСП и акустического каротажа.

### **Сущность предлагаемой технологии**

Предлагается подход, основанный на разложении исходного поля в спектр Фурье и обращенного, с нормировкой, продолжения его в среду. При этом, в каждой точке среды может быть получен комплексный спектр поля, по которому, в свою очередь, может быть оценен комплексный интегральный показатель рассеяния (КИПР). По модулю КИПР может быть оценен интегральный коэффициент неоднородности среды в каждой точке, восстановлены как локальные, так и протяженные геологические объекты. Вещественная (активная) составляющая КИПР характеризует аномальное поглощение а мнимая (реактивная) – локальный акустический импеданс (коэффициент отражения - для границ). При этом, восстановление может идти как с априорно заданным распределением скорости в исследуемой среде, так и с автоматическим ее уточнением в процессе обращения поля. Собственно волновая (дифракционная) томографическая обработка заключается в обращенном продолжении исходных сейсмограмм в истинных амплитудах, в спектральной области. При этом происходит пересчет временного комплексного спектрального поля  $U(f,x,t)$  в пространственное  $U'(f,x,z)$ . Обращенные спектры далее нормируются комплексным фильтром характеристики обращенного продолжения  $O(f,x,z)$ , что аналогично свертке обратной проекции в лучевой томографии. Полученное нормированное поле  $U''(f,x,z)=U'(f,x,z)*O(f,x,z)$  далее исследуется на аномальность спектров в частотных срезах  $U''(x,z), f=\text{const}$ , или интегральных спектральных амплитудных и фазовых характеристик  $U'''(f,z)$ . В результате, могут быть построены как разрезы параметров обращенного поля, позволяющие проводить структурную интерпретацию, так и расчетные значения вещественной и мнимой составляющих КИПР, позволяющих переходить непосредственно к анализу литологии.

### Примеры применения

Ниже представлены избранные результаты апробации технологии на ряде модельных и реальных сейсмогеологических объектов. В силу отсутствия интереса производственных организаций к подобного рода исследованиям в 1990-х годах, в основном, проводилась отработка технологии на математических моделях. При этом, накоплен богатый методический материал в части того, как результаты обращения могут быть связаны с апертурой обращения (диапазоном удалений источник-приемник), частотным диапазоном, шагом дискретизации по частоте и собственно характеристическими размерами и ориентацией исследуемых объектов и структур.

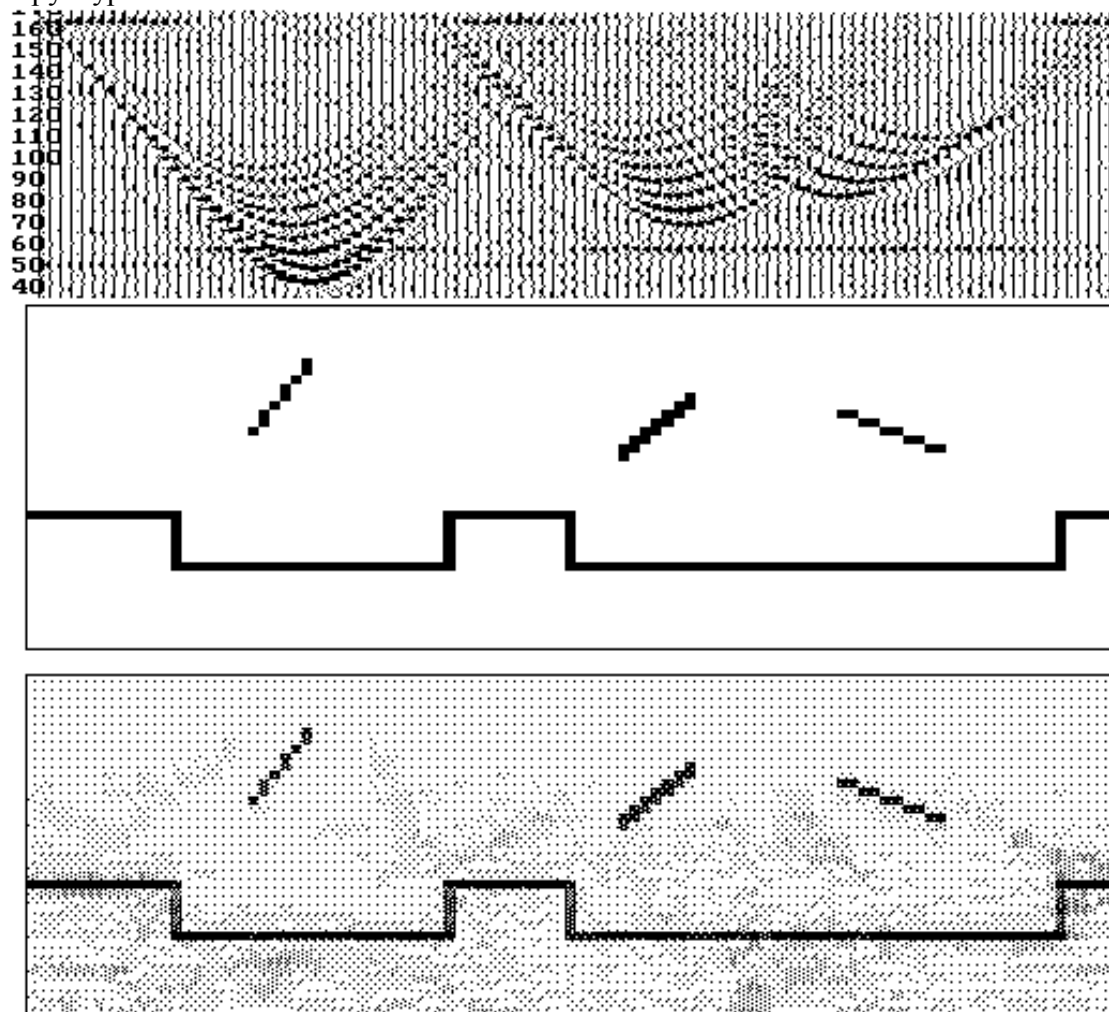
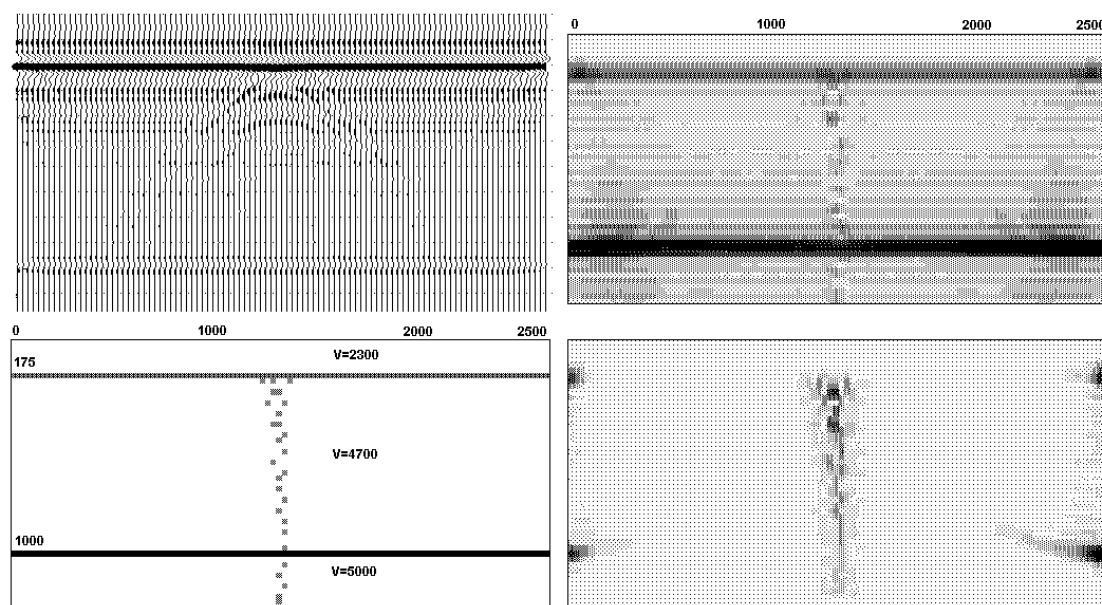
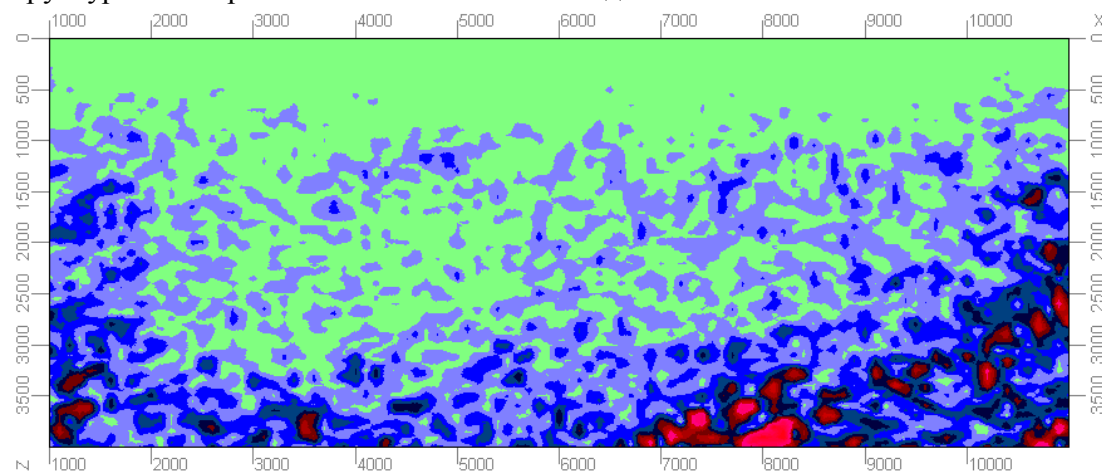


Рисунок выше демонстрирует обращение волнового поля полученного для модели гидротермально проработанных тектонических зон над сложнопостроенным кристаллическим фундаментом. Моделировались поверхностные наблюдения методом многократных перекрытий (вверху) для модели (посередине). По результатам волнового обращения (внизу), как структура фундамента, так и изолированные зоны над ним отчетливо идентифицируются без присущих традиционному миграционному преобразованию интерференционных эффектов.



Применительно к задаче локализации интрузивных образований, было проведено моделирование полного рассеянного поля от двух контрастных границ и слабоконтрастного гетерогенного тела кимберлитовой трубки. На рисунке выше слева показан модельный разрез и соответствующее волновое поле. Было выполнено волновое обращение модельных данных, как исходных, так и с предварительным подавлением отраженных волн, как показано на рисунке выше справа. Очевидна возможность локализации исследуемого рассеивающего объекта на фоне более сильных субгоризонтальных отражений. Процедура предварительного подавления отраженных волн дает возможность восстановления структуры кимберлитового тела "в чистом виде".



Показанное на рисунке выше применение волнового обращения к сейсмическим данным, полученным на Кольском полуострове, в районе Печенгской структуры, позволяет локализовать глубинные рудоконтролирующие структуры в области низких частот. К сожалению, в виду недостаточно полного скоростного анализа, более высокочастотные структуры в верхней части разреза не выделяются. Исследование не было доведено до конца в связи с отсутствием финансирования в 1990-х.