

Д. К. Дмитрачков^{1}, М. И. Протасов¹*

Анализ возможностей итерационного алгоритма совместной акустической инверсии и глубинной миграции для восстановления параметров упругой среды

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: daniel.dmitrachkov@gmail.com

Аннотация. Сейсмическая инверсия используется для построения во временной области по сейсмическим данным модели с высоким уровнем детализации, однако в глубинной области почти не применяется. В рамках данной работы исследуются границы применимости алгоритма совместной акустической сейсмической инверсии и глубинной миграции для восстановления упругих параметров среды. Численные эксперименты проведены на реалистичной модели Marmousi.

Ключевые слова: сейсмическая инверсия, глубинная миграция, низкочастотная модель

D. K. Dmitrachkov^{1}, M. I. Protasov¹*

Analysis of the capabilities of the iterative algorithm of joint acoustic inversion and depth migration for reconstruction of the elastic medium parameters

¹ Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: daniel.dmitrachkov@gmail.com

Abstract. Seismic inversion is used to build a highly detailed model in the time domain from seismic data, but it is almost never used in the depth domain. In the presented work, we investigate the limits of applicability of the algorithm of joint acoustic seismic inversion and depth migration for reconstruction of elastic parameters of the medium. Numerical experiments were carried on a realistic Marmousi model.

Keywords: seismic inversion, depth migration, low-frequency model

Введение

Сейсмическая инверсия является стандартной процедурой, позволяющей прогнозировать коллекторские свойства пластов. Обычно под сейсмической инверсией понимается алгоритм, который преобразует временной или мигрированный временной сейсмический разрез в разрез акустических импедансов [1, 2]. Входом для инверсии являются результаты временной обработки как до, так и после суммирования [3, 4], а результатом служит детальная модель упругих свойств среды. В областях со сложной геологией применяется глубинная обработка сейсмических данных, позволяющая построить точное представление о

структуре геологической среды. В этом случае сейсмическую инверсию необходимо применять к результатам глубинной обработки, но в глубинной области сейсмическая инверсия почти не применяется. Акустический вариант сейсмической инверсии способен восстанавливать детальный разрез акустических импедансов, однако по восстановленным импедансам не представляется возможным отделить глубинную скоростную модель среды от плотностной модели. В рамках данной работы исследуются возможности алгоритм совместной акустической сейсмической инверсии и глубинной миграции для восстановления скоростной и плотностной моделей геологической среды. В основе итерационного алгоритма лежат алгоритм сейсмической инверсии полной вариации с ограничениями и алгоритм глубинной миграции на гауссовых пучках. Установлено, что глубинная скоростная модель среды может быть уточнена при известной плотности. Показано, что при неизвестной плотности можно сделать один шаг итерационного алгоритма, получив детальную модель импеданса, предварительно оценив плотностную модель среды. Исследование проведено с использованием синтетических данных и реалистичной модели Marmousi.

Совместная миграция и инверсия

Представленный совместный алгоритм состоит из алгоритма инверсии и алгоритма миграции, которые следуют друг за другом в итерационном процессе уточнения глубинной скоростной модели.

В основе акустической инверсии полной вариации с ограничениями лежит одномерная свёрточная модель сейсмической трассы. В этой постановке предполагается, что при нормальном падении плоской продольной волны для горизонтально-слоистой среды однократно-отражённое волновое поле во временной области представляется в виде свёртки трассы коэффициентов отражения с зондирующим импульсом. Решение задачи неединственно, поэтому успешное нахождение разумного решения обеспечивает правильный учёт априорной информации о решении с помощью регуляризации. Для этого переходят от исходной задачи к задаче минимизации целевого функционала. В нём обязательно присутствует норма невязки между наблюдаемой сейсмической трассой и синтетической, получающейся в результате свёртки. Далее, в предположении, что среда состоит из конечного числа однородных слоёв, более предпочтительными оказываются разреженные трассы коэффициентов отражения с наименьшим числом ненулевых компонент. Отбирать эти решения среди допустимых предлагается с помощью стабилизаторов, накладывающих штраф на полную вариацию решения. Поскольку в сейсмических трассах отсутствует информация о низкочастотной компоненте модели, то в рамках слабоконтрастного приближения [3, 4] можно сконструировать стабилизатор, учитывающий в решении начальную модель акустических импедансов. Так как используемая свёрточная модель одномерная, то для обеспечения пространственной связности решения используется ещё один стабилизатор, использующий соседнюю трассу коэффициентов отражения, полученную ранее. Целевой функционал минимизируется с помощью квазиньютоновского метода, что требует только вычисления градиента функци-

онала. Когда определены коэффициенты отражения, по ним восстанавливается модель акустических импедансов с помощью рекуррентного соотношения.

В совместном алгоритме применяется миграция в истинных амплитудах, основанная на гауссовых пучках [5]. Используя разложение скоростной модели на гладкую низкочастотную компоненту и быстроменяющуюся высокочастотную компоненту, в предположении однократного рассеяния рассматривается линейный интегральный оператор, связывающий быстроменяющуюся компоненту скорости с данными, образованными отражёнными и рассеянными волнами. Псевдообращение оператора получается с помощью функций Грина, которые вычисляются с применением техники гауссовых пучков.

Совместный алгоритм заключается в следующем. При известной плотности, по начальной скоростной модели с помощью миграции мы получаем изображение в глубинном масштабе, а также оцениваем начальную модель импеданса. Затем мы переходим во временной масштаб с помощью скорости и используем начальную модель импеданса в инверсии. Переходя обратно в глубину, мы уточняем миграционную скоростную модель с помощью результата инверсии, после чего повторяем описанные шаги.

Численные эксперименты

В предположении, что модель плотности известна, с помощью совместного алгоритма миграции-инверсии удаётся уточнить глубинную скоростную модель (рис. 1).

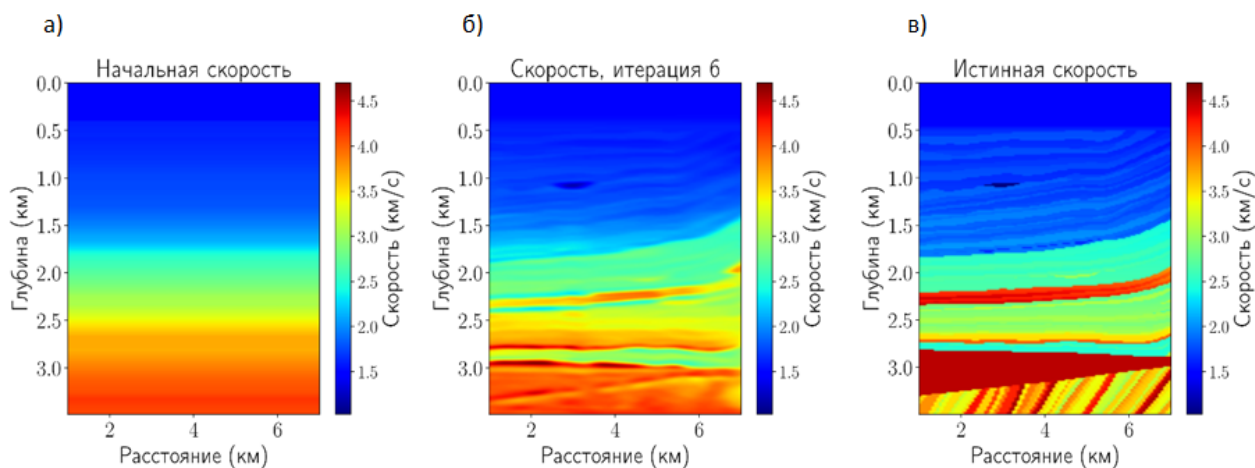


Рис. 1. Уточнение скоростной модели при известной плотности. а) Начальная скоростная модель. б) Восстановленная скоростная модель после 6-й итерации алгоритма совместной миграции-инверсии. в) Истинная скоростная модель.

Об уточнении скоростной модели можно также судить, глядя на изменение границ глубинного изображения в процессе итераций совместного алгоритма (рис. 2).

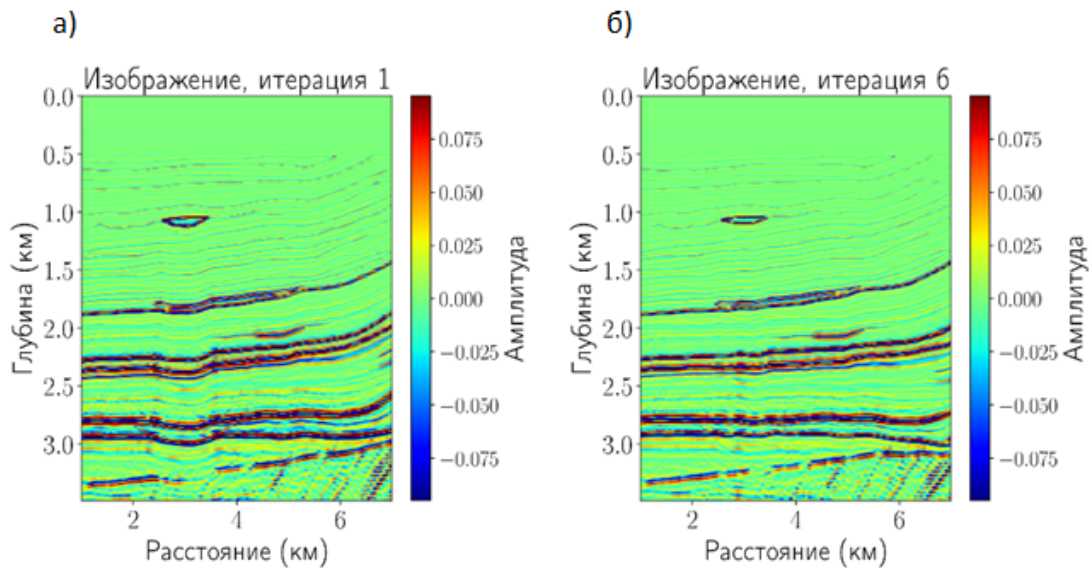


Рис. 2. Изменение границ глубинного изображения. а) Изображение, построенное в начальной скоростной модели. б) Изображение, построенное в скоростной модели после 6-й итерации алгоритма совместной миграции-инверсии

В случае, когда модель плотности среды неизвестна, мы всё же можем сделать один шаг алгоритма. По миграционной скоростной модели оценивается начальное приближение для плотности, например, с помощью формулы Гарднера. После миграции мы можем сделать акустическую инверсию, воспользовавшись полученной начальной моделью импедансов, получая в результате одного шага алгоритма детальную модель акустических импедансов (рис. 3).

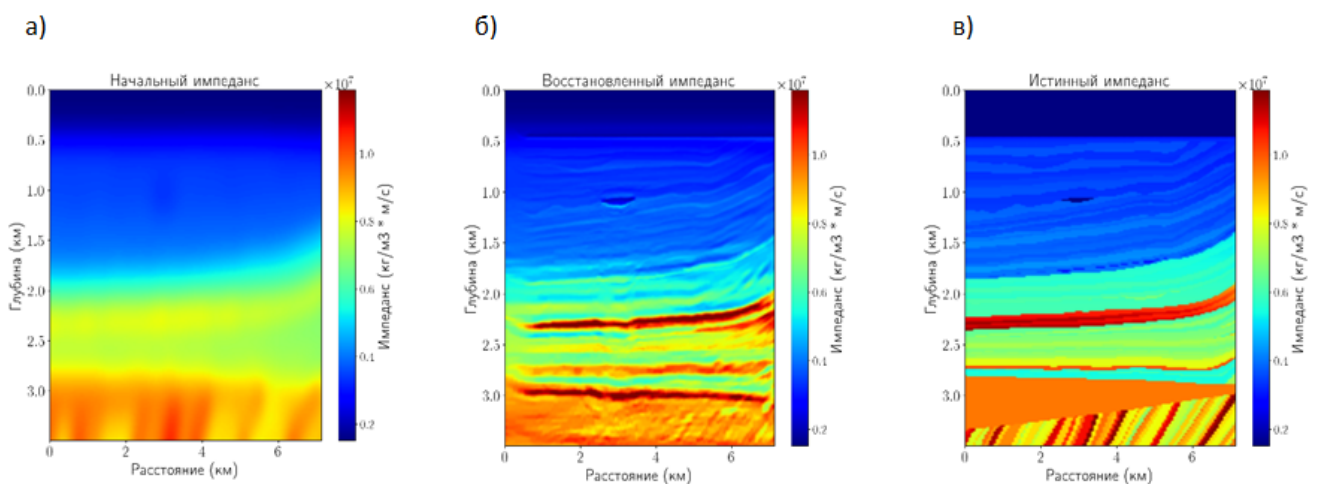


Рис. 3. Один шаг алгоритма совместной миграции-инверсии при неизвестной плотности. а) Начальная модель импеданса. б) Восстановленная модель импеданса после 1-й итерации алгоритма совместной миграции-инверсии. в) Истинная модель импеданса.

Обсуждение и заключение

Предложенный совместный алгоритм миграции-инверсии позволяет уточнить глубинную скоростную модель среды в том случае, если известна модель плотности. В том случае, когда информация о плотности отсутствует, имеется возможность сделать один шаг совместного алгоритма и уточнить модель акустического импеданса.

Полученные результаты показывают, что даже при использовании акустического варианта сейсмической инверсии можно извлечь полезную информацию, используя инверсию в связке с миграцией. Основной трудностью в применении алгоритма для упругой среды является невозможность отделения плотности от скорости, что говорит о необходимости модификации совместного алгоритма и продвижения в сторону упругого варианта сейсмической инверсии.

Благодарности

Данная работа выполнена при частичной поддержке Российского Научного Фонда, грант № 21-71-20002. Численные результаты работы были получены с использованием вычислительных ресурсов суперкомпьютерного центра Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (scc.spbstu.ru).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ампилов Ю.П., Барков А.Ю., Яковлев И.В., Филиппова К.Е., Приезжев И.И. Почти все о сейсмической инверсии. Часть 1: Технологии сейсморазведки. – 2009. – № 4. – С. 3–16.
2. Russell B. H. Introduction to Seismic Inversion Methods: Course Notes Series, Society of Exploration Geophysicists. – 1988. – 80–101.
3. Hampson D.P., Russell B.H., Bankhead B. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data: SEG Expanded Abstracts. – 2005. – 1633–1637.
4. Russell B.H. and Hampson D.P. Comparison of poststack seismic inversion methods: SEG Expanded Abstracts. –1991. – 876–878.
5. Protasov M.I., Cheverda, V.A. True amplitude imaging by inverse generalized Radon transform based on Gaussian beam decomposition of the acoustic Green's function. Geophysical Prospecting. –2011. – 197–209.

© Д. К. Дмитрачков, М. И. Протасов, 2024