



УДК 550.834.05(571.5)

ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ И УТОЧНЕНИЯ ГЛУБИННО-СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИГРАЦИОННЫХ И ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

А. С. Юнашева, Б. Н. Недомовный, Е. В. Мосягин, М. Н. Шапорина

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Приводится обзор основных методов построения применяемых в настоящее время глубинно-скоростных моделей (ГСМ) и эффективности их использования в сложных сейсмогеологических условиях. Наряду с широко известными и общепринятыми алгоритмами рассматривается методика интегрированного подхода, основанная на комбинации двух методов построения ГСМ и позволяющая объединить положительные стороны комбинируемых методов, при этом нивелируя их недостатки. На примере современных данных, полученных в Восточной Сибири вблизи зоны складчато-надвиговых дислокаций Предпатомского регионального прогиба, демонстрируется возможность повышения качества сейсмического изображения благодаря использованию интегрированного подхода и томографических преобразований, для сложно построенных сред в процессе глубинной миграции.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, сложно построенные среды, глубинно-скоростная модель, интегрированный подход, сеточная томография, количественный контроль качества, интерпретация результатов.

THE EXAMPLE OF CONSTRUCTION AND REFINEMENT OF VELOCITY-DEPTH MODEL USING MIGRATION AND TOMOGRAPHIC TRANSFORMATIONS

A. S. Yunasheva, B. N. Nedomovnyy, E. V. Mosyagin, M. N. Shaporina

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The article is devoted to the overview of the main methods for constructing velocity-depth models (VDM), applied today and the effectiveness of their use in complicated seismic and geological conditions. In the present work, the method of integrated approach is considered along with well-known and generally accepted algorithms. The method of integrated approach is based on a combination of two model-building techniques while leveling their disadvantages. Using the example of real modern data obtained on the territory of East Siberia near fold-thrust dislocations of the Cis-Patom regional trough, the possibility of improving the quality of seismic image is demonstrated due to the use of the integrated approach and tomographic transformations for complexly constructed environments in the process of deep migration.

Keywords: East Siberia, complexly constructed environments, velocity-deep model, integrated approach, grid-based tomography, quantitative control of quality, interpretation of results.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-2-74-83

За последнее время процедура миграции, как временная, так и глубинная, стала неотъемлемой частью этапа интерпретационной обработки сейсмических данных [5]. Как правило, временная миграция до суммирования дает возможность достаточно качественно учитывать сейсмический снос и восстанавливать правильное (истинное) положение сейсмического горизонта. Однако в районах со сложными сейсмогеологическими условиями, где разрез представляет собой множество блоков с различными сейсмоакустическими характеристиками, изменяющимися в вертикальном и латеральном направлениях, временная миграция не всегда позволяет получить качественный результат [6]. В таких случаях для улучшения фокусировки отраженных волн и повышения детализации сейсмического изображения среды возникает необходимость использования глубинной миграции до суммирования [9].

Существует большое количество алгоритмов глубинной миграции до суммирования, отличаю-

щихся друг от друга не только математическим аппаратом, но и методикой построения сейсмического изображения. Выбор алгоритма осуществляется на основании качества данных и поставленной задачи [4]. Рассмотрение алгоритмов миграции и их сравнение с математической точки зрения выходит за рамки данной статьи. Целью авторов является знакомство читателя с используемыми методами построения и повышения точности глубинно-скоростной модели с применением миграционных преобразований, а также изучение возможностей их использования для повышения точности изображения сложно построенных сред на примере участка в Восточной Сибири.

Технология глубинной миграции заключается в построении сейсмического изображения в рамках заданной глубинно-скоростной модели. Для получения качественного сейсмического изображения, позволяющего решать сложные геологические задачи, необходимо подробное описание латераль-

ного и вертикального распределения скоростей в изучаемой геологической среде. Как следствие, наибольшая часть временных затрат, отводимых на глубинную миграцию, приходится на построение ГСМ. Использование оптимальной методики построения ГСМ среды позволило бы не только существенно сократить время, но и получить наиболее достоверные изображения в результате глубинной миграции [2].

В данной работе рассматривается методика интегрированного подхода. Она подразумевает интеграцию (встраивание) верхней части скоростной модели, полученной структурно независимым методом ограниченной скоростной инверсии (ОСИ), в пластовую модель, полученную структурно зависимым методом когерентной инверсии (КИ). Полученная исходная ГСМ уточняется за несколько итераций методом сеточной томографии. Такой подход позволяет в полной мере использовать преимущества объединенных методов, нивелируя их недостатки.

Все этапы настоящей работы по построению и уточнению глубинно-скоростной модели были выполнены в пакете Geodepth (продукт компании Paradigm). Это один из наиболее широко распространенных пакетов, направленный на построение и уточнение ГСМ, а также на выполнение временной и глубинной миграции [3]. Данный пакет поддерживает два типа представления ГСМ, а именно: структурно зависимую и структурно независимую скоростные модели.

Исходные данные и применяемые программные средства

Объектом исследования в данной работе является площадь в Иркутской области (Восточная Сибирь) вблизи зоны складчато-надвиговых дислокаций Предпатомского регионального прогиба. Рельеф характеризуется достаточно неоднород-

ным строением как по вертикали, так и по латерали (рис. 1).

Широко развитая разломная тектоника в целевой части разреза (венд-нижнекембрийский комплекс) и наличие солевых подушек обуславливают недоучет скоростных аномалий (изменений) при построении глубинно-скоростной модели. Также ситуацию усугубляет и то, что изученность исследуемой территории скважинными методами крайне мала. Пробурены всего три скважины, причем неравномерно распределенные по площади. В связи с этим ориентироваться на интервальные скорости, полученные при изучении скважин, не представляется возможным. Точность построения ГСМ в таких непростых геологических условиях напрямую будет зависеть от правильности выбора методики.

Исходя из геологической обстановки площади, в пакете Geodepth используется тот или иной тип построения модели. Структурно зависимый подход предполагает послойное определение скорости, в то время как структурно независимый – нахождение исходной скорости из сглаженных скоростей суммирования с помощью контролируемого преобразования Урупова – Дикса. Мы использовали оба подхода для построения исходной ГСМ (рис. 2).

Для сложно построенных сред наиболее распространенным подходом определения скоростей является когерентная инверсия [7]. Но в большинстве случаев она не дает точных результатов. Нами был использован комплексный интегрированный подход, учитывающий все сложности среды. Построение ГСМ принято выполнять от плавающего уровня приведения; в нашем случае был выбран уровень 600 м для учета неоднородной верхней части разреза (ВЧР). В качестве входных данных для построения ГСМ использованы временные сейсмограммы на финальном этапе (после процедур шу-

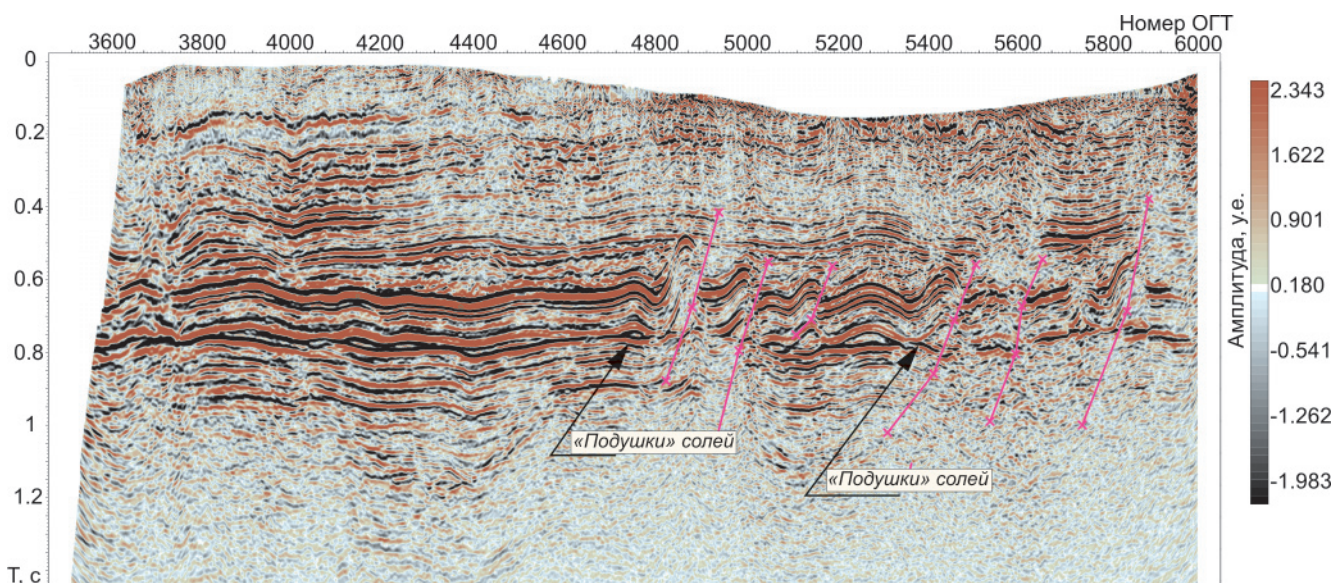


Рис. 1. Временной мигрированный разрез (PSTM) (розовые линии – разломные нарушения)



Рис. 2. Схема работы в рамках этапа глубинной миграции

моподавления) на плавающем уровне и временные опорные горизонты.

С полученной скоростной моделью выполнялась миграция по алгоритму Кирхгофа на основе решения уравнения эйконала. Уточнение ГСМ осуществлялось в несколько итераций методом сеточной томографии, в ходе которой рассчитывались структурные атрибуты для учета остаточной кривизны годографов. С обновленной скоростной моделью вновь выполнялась глубинная миграция, где по недоспрямлениям годографов на мигрированных

сейсмограммах принималось решение повторного уточнения ГСМ. Были выполнены четыре итерации уточнения, и после четвертой годографы стали обладать более спрямленными осями синфазности, а также улучшилась прослеживаемость отражений на разрезах.

Особенности построения ГСМ

Для построения начальной (или фоновой) глубинно-скоростной модели использовались три метода: 1) ограниченной скоростной инверсии, позволяющий построить ГСМ путем пересчета скоростей суммирования в интервальные скорости, используя уравнение Урупова–Дикса, 2) когерентной инверсии, 3) комбинированный метод, объединяющий два первых.

Первым способом построения исходной ГСМ был метод ограниченной скоростной инверсии, подразумевающий пересчет сглаженных окончательных скоростей суммирования через уравнение Урупова–Дикса (рис. 3, а). Основные недостатки указанного метода заключаются в том, что он не учитывает эффекты преломления лучей на отражающих границах и неправильно восстанавливает структурный план для сложных сред.

Второй способ построения ГСМ – метод когерентной инверсии. Как известно, его суть заключается в послойном определении скоростей и геометрии границ начиная с поверхности [7]. В процессе

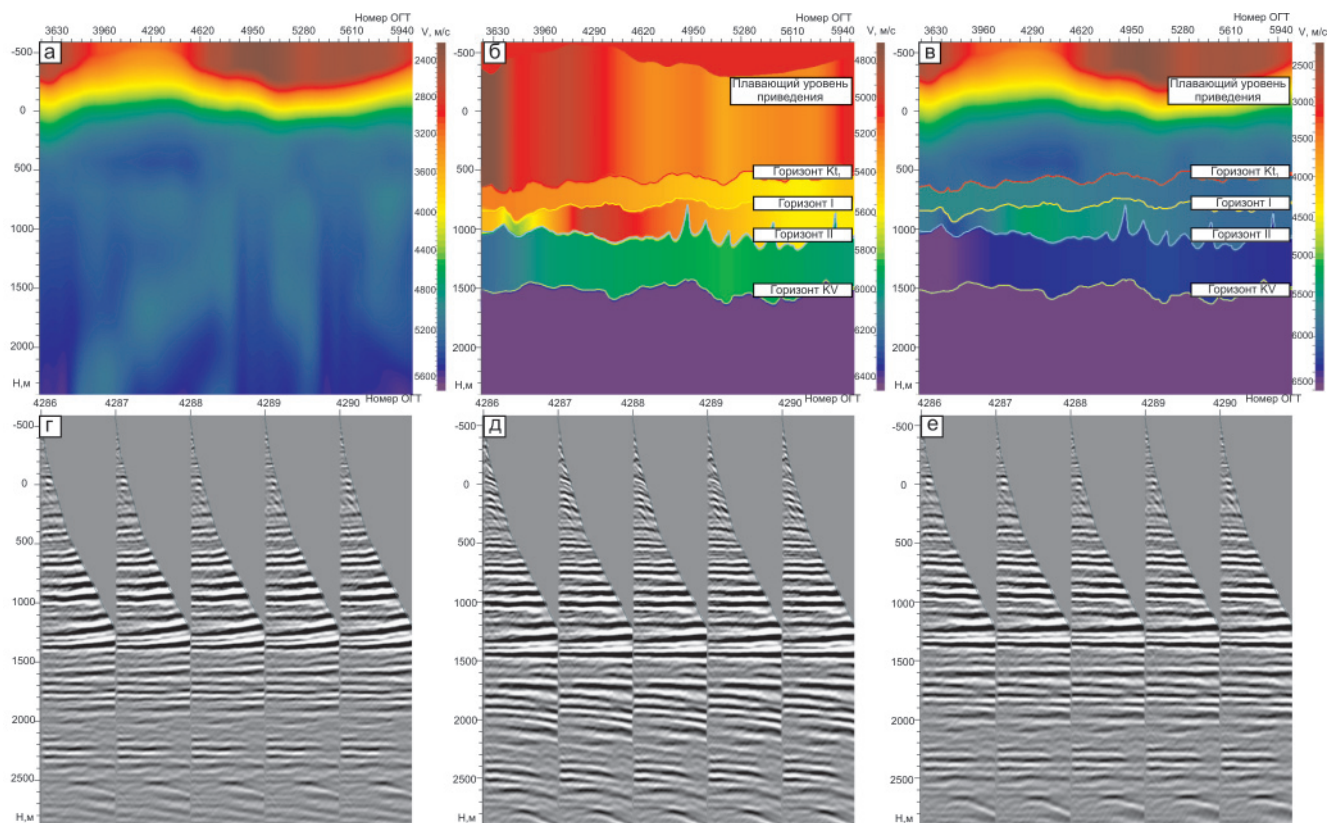


Рис. 3. Глубинно-скоростные модели и соответствующие им сейсмограммы общей глубинной точки (ОГТ), полученные в результате глубинной миграции: а – модель интервальных скоростей, построенная по Диксу; б – изотропная толстослойная ГСМ, построенная методом когерентной инверсии; в – комбинированная скоростная модель; г–е – сейсмограммы общей точки изображения, построенные по соответствующим ГСМ

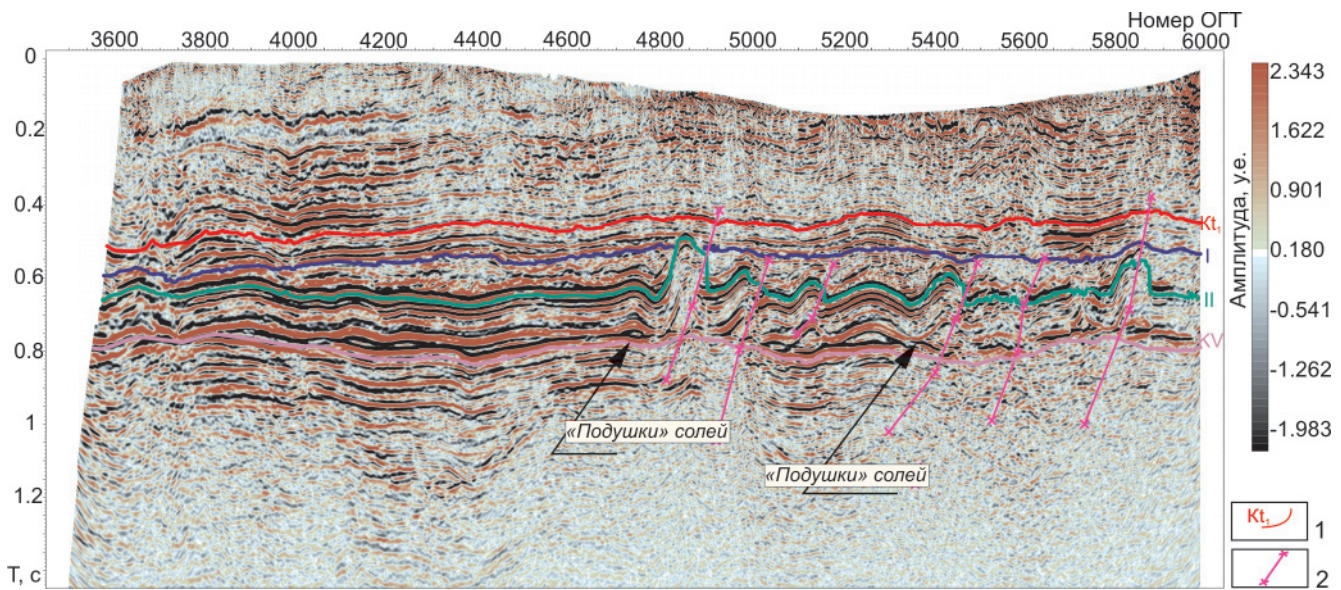


Рис. 4. Временной мигрированный разрез (PSTM) с корреляцией опорных горизонтов
1 – отражающий горизонт; 2 – разломные нарушения

работы были использованы четыре целевых горизонта, выбранные по результатам интерпретации на временных окончательных разрезах. Критерием выбора горизонтов послужила их акустическая контрастность и практически повсеместная прослеживаемость по площади работ (рис. 4). К сожалению, верхние горизонты прослеживаются по площади спорадически и не могут быть привлечены к когерентной инверсии.

На рис. 4 показано расположение горизонтов на временном мигрированном разрезе (PSTM): горизонт Kt_1 – в кровле нижнетолбачанской подсвиты; горизонт I – в кровле юрегинской свиты; горизонт II – в кровле билирской свиты; горизонт KV – в кровле терригенных отложений венда.

Для каждого горизонта по методу когерентной инверсии был рассчитан горизонтальный спектр интервальных скоростей по сейсмограммам общей средней точки (ОСТ). На основе этих скоростей определялось расположение горизонтов в глубине. Далее строилась толстослоистая предварительная ГСМ (см. рис. 3, б). Скорость в нижней части модели была определена постоянной и равной 6500 м/с. Это обеспечило наилучшую спрямленность годографов в области ниже горизонта KV

Следует отметить, что метод когерентной инверсии по ряду причин не является точным для определения скорости. Плохая прослеживаемость горизонтов, различные неоднородности ВЧР, мешающие корректному определению интервальной скорости по спектру, и человеческий фактор – все это вносит погрешности в построение ГСМ. Кроме того, существенный недостаток – невозможность изменения вышележащей части модели после ее построения.

Третий метод построения ГСМ объединяет два предыдущих (см. рис. 3, в). При попытке нивелировать недостатки первых двух методов возникла

идея их объединения. Толстослоистая модель, полученная методом когерентной инверсии, имеет ряд мощных пластов, ограниченных наиболее выраженными акустически жесткими границами. Такая модель в основном описывает латеральное изменение скоростей. Вертикальная составляющая скорости внутри толщи, ограниченной двумя горизонтами, описывается константой. Из-за наличия более молодых, рыхлых пород и других аномалий, не позволяющих провести надежную и непрерывную корреляцию отражающих горизонтов, возникают ограничения, связанные с неспособностью данной модели охарактеризовать верхнюю часть разреза. Скоростная модель, полученная методом ОСИ, в отличие от когерентной инверсии позволяет охарактеризовать изменение скоростей как в латеральном, так и в вертикальном направлении. При отсутствии непрерывной корреляции горизонтов и наличии резких изменений скоростей вдоль вертикальной оси метод ОСИ имеет преимущество над методом КИ, несмотря на отсутствие у него прямой связи со структурным планом.

Таким образом, для учета скоростей в интервале выше горизонта Kt_1 была использована модель, полученная методом ОСИ и интегрированная в толстослоистую пластовую модель КИ на основании карты глубинной поверхности Kt_1 .

С полученными ГСМ выполнялась изотропная глубинная миграция до суммирования по алгоритму Кирхгофа в модуле 2D Kirchhoff Pre-Stack Depth Migration. При этом использовались следующие параметры: пространственная апертура 5000 м, максимальная частота 110 Гц. Для расчета времен пробега волн применялся метод Wavefront.

Выполнение миграции происходило на плавающем уровне, что позволило лучше учесть неоднородности верхней части разреза и избежать искажений годографов отраженных волн, т. е. вер-

тикального смещения годографа на значительные временные сдвиги, которые могли бы внести существенные ошибки при оценке скоростей и глубин.

Как видно из рис. 4, скоростные модели, построенные с использованием методов КИ и ОСИ, не обеспечивают полного горизонтального спрямления годографов на сейсмограммах. Модель, построенная по методу ОСИ, не учитывает геологического строения, что сказывается на недоспрямлении годографов, однако позволяет более качественно учесть скорости в ВЧР, чем послойная пластовая модель. В пластовой модели точнее определены скорости вдоль опорных горизонтов, но не учтены лучепреломления выше первого опорного горизонта Kt_1 , где резко изменяются акустические характеристики волнового поля, связанные со сложными структурно-тектоническими обстановками, развитием горстов, разломов и зональным мозаичным выщелачиванием пластов каменной соли. Для сложно построенных сред эти два способа по отдельности непригодны. В качестве исходной ГСМ было решено использовать модель, полученную комбинированным способом, что подразумевает интеграцию (встраивание) верхней части модели ОСИ в пластовую модель КИ. В данной работе используется комплексный подход к получению окончательной скоростной модели, который выражается в построении ГСМ комбинированным способом и последующем ее уточнении методом сеточной томографии.

В качестве входных данных для сеточной томографии использовались сейсмограммы после глубинной миграции, полученная комбинированным методом скоростная модель, а также структурные

атрибуты (углы наклона и непрерывность границ). Эти атрибуты представляют собой информацию, извлеченную из суммарного мигрированного разреза и являются важнейшими компонентами, по которым можно оценивать характеристики отражающих границ. Алгоритмом Plane Wave Destructor («разрушитель плоских волн»), который может быть использован для оценки наклона между двумя соседними трассами, в каждой глубинной точке наших двумерных данных рассчитывались атрибуты наклона и непрерывности границы [8].

Принцип сейсмической томографии основывается на оценках кривизны годографов по сейсмограммам после глубинной миграции [1]. В процессе выполнения томографии осуществлялся автоматический анализ остаточной кинематики с использованием структурных атрибутов.

Толстослоистая скоростная модель, заданная в качестве исходной скоростной модели, контролировала томографическую инверсию, не давая параметрам модели (глубине и скорости) существенно отклоняться от начальных параметров.

Особое внимание уделялось горизонтальным функциям (moveout), построенным на основе структурных атрибутов и моделей горизонтов (рис. 5). Расчетные параметры для них (окна настройки, порог непрерывности, окна сглаживания) подбирались таким образом, чтобы они повторяли недоспрямления или переспрямления годографов отраженных волн.

Правильная технология уточнения ГСМ подразумевает спрямление годографов сначала в верхней части разреза, далее в нижней с ограничением

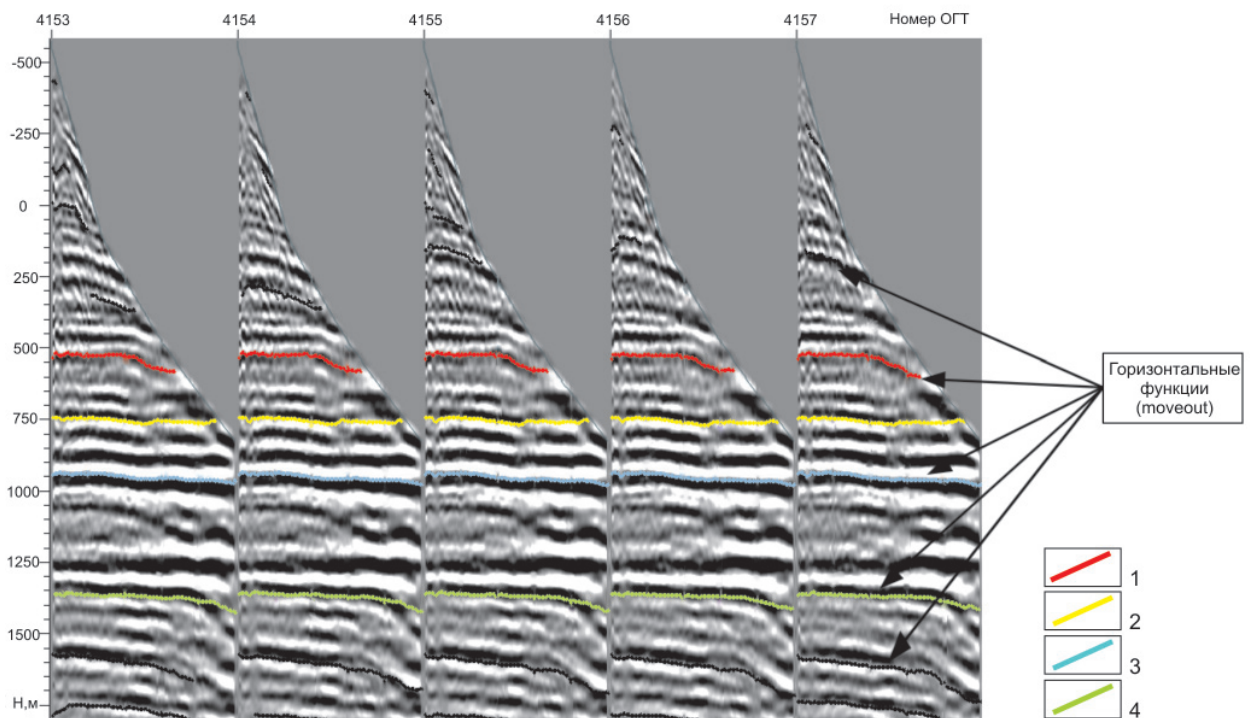


Рис. 5. Сейсмограмма ОГТ и нанесенные на нее структурные атрибуты (moveout)
Горизонты: 1 – Kt_1 , 2 – I, 3 – II, 4 – KV

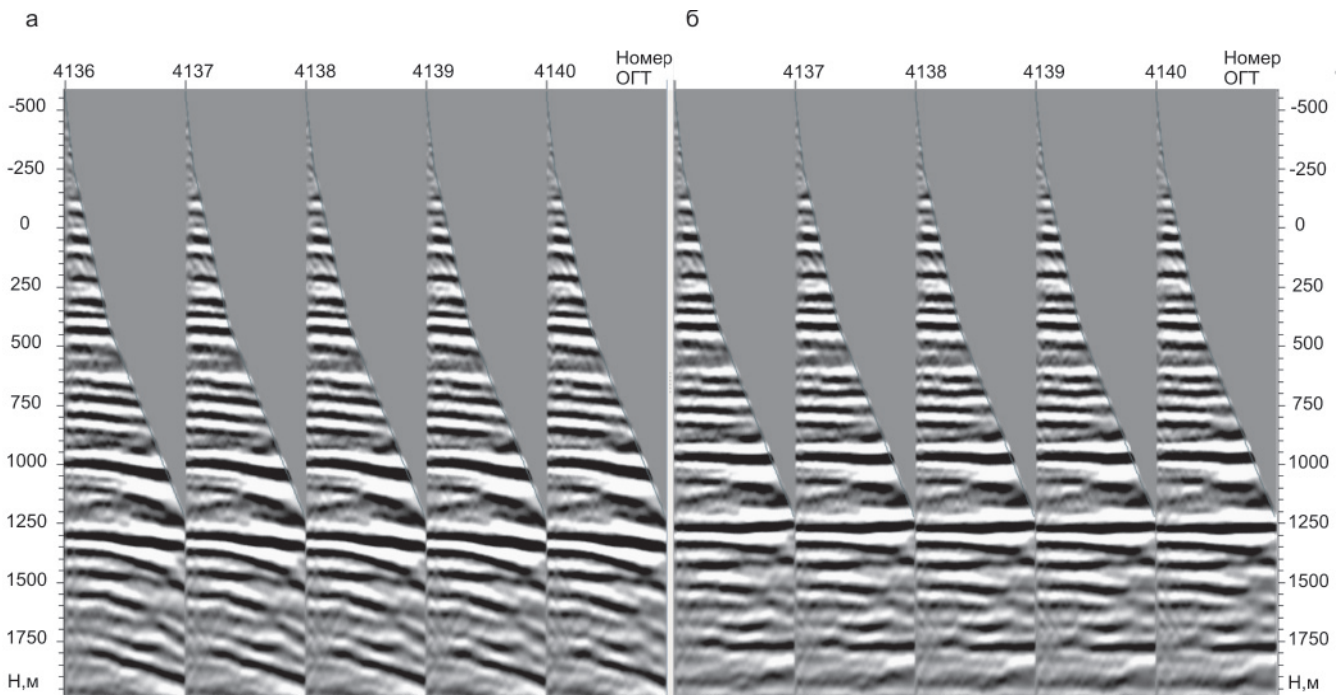


Рис. 6. Сейсмограммы ОГТ после первой (а) и четвертой (б) итераций уточнения

верхних слоев. Первая итерация уточнения выполнялась по угловым сейсмограммам, полученным на основе пересчета сейсмограмм ОГТ и привлечения первого опорного горизонта K_1 для учета зоны ближних удалений. Последующие итерации уточнения включали нижележащие горизонты.

Были проведены четыре этапа уточнения скоростной модели. На каждом строились новые структурные атрибуты с учетом нового мигрированного глубинного разреза, полученного по обновленной уточненной модели (рис. 6).

В итоге после выполнения сеточной томографии была получена обновленная уточненная ГСМ, с которой выполнялась глубинная миграция до суммирования по алгоритму Кирхгофа.

В случае корректно подобранной скоростной модели глубинные сейсмограммы будут обладать нулевой остаточной кривизной; если же скоростная модель подобрана неверно, то в сейсмограммах будут присутствовать недоспрямления годографов.

Сейсмограммы после четвертой итерации уточнения обладают более спрямленными осями синфазности, что говорит о минимизации остаточной кинематики и более корректном учете преломления лучей. Последующие итерации не приводят к каким-либо заметным улучшениям. В результате глубинная миграция работает с более точными годографами, что ведет к повышению качества сейсмического изображения.

Полученные результаты и их геологическая значимость

В результате выполненной работы окончательная ГСМ позволила наиболее точно описать распределение интервальных скоростей в среде. Это помогло получить более достоверные геологические

результаты после глубинной миграции. Скорость в районах залежей соли изначально была завышенной, после процедуры глубинной миграции и уточнения она стала примерно 5400 м/с, что характерно для данного геологического разреза (рис. 7).

Для анализа качества полученных результатов было проведено визуальное и количественное сравнение окончательных разрезов после временной миграции (PSTM) и после глубинной миграции (PSDM) во временном масштабе. На рис. 8 видно, что качество изображения солевых тел значительно выше в случае использования интегрированного подхода с последующим уточнением. Также отражения стали более сфокусированы, стали заметны мелкомасштабные нарушения в ВЧР. Это свидетельствует о том, что глубинно-скоростная модель подобрана более точно. Улучшение точности и детальности разреза обеспечивает хорошие предпосылки для дальнейшей интерпретации и выявления отдельных геологических строений. На рис. 9 представлены количественная оценка амплитудных спектров, вертикальная разрешающая способность и соотношение сигнал/помеха по фрагментам окончательных разрезов PSTM и PSDM во временном масштабе. Вычисление атрибутов качества проводилось в 400-миллисекундной области прослеживания сигнала, где присутствуют солевые подушки. По результатам оценки видно, что окончательный разрез во временном масштабе, полученный после глубинной миграции, превосходит разрез, полученный после временной миграции.

В тектоническом плане описываемая территория характеризуется развитием зоны надвиговых дислокаций в толще верхневендских – нижнекембрийских отложений. Надвиговая структура, имеющая шарьяжное строение, развита на большой

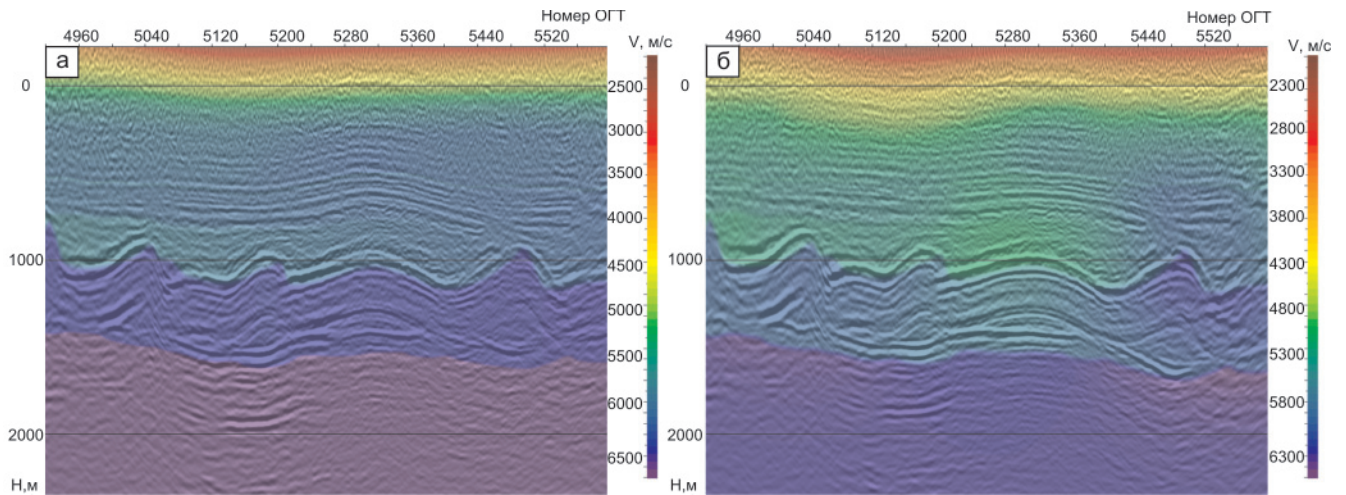


Рис. 7. Фрагмент глубинного разреза с совмещенной ГСМ: а – начальная, б – окончательная уточненная

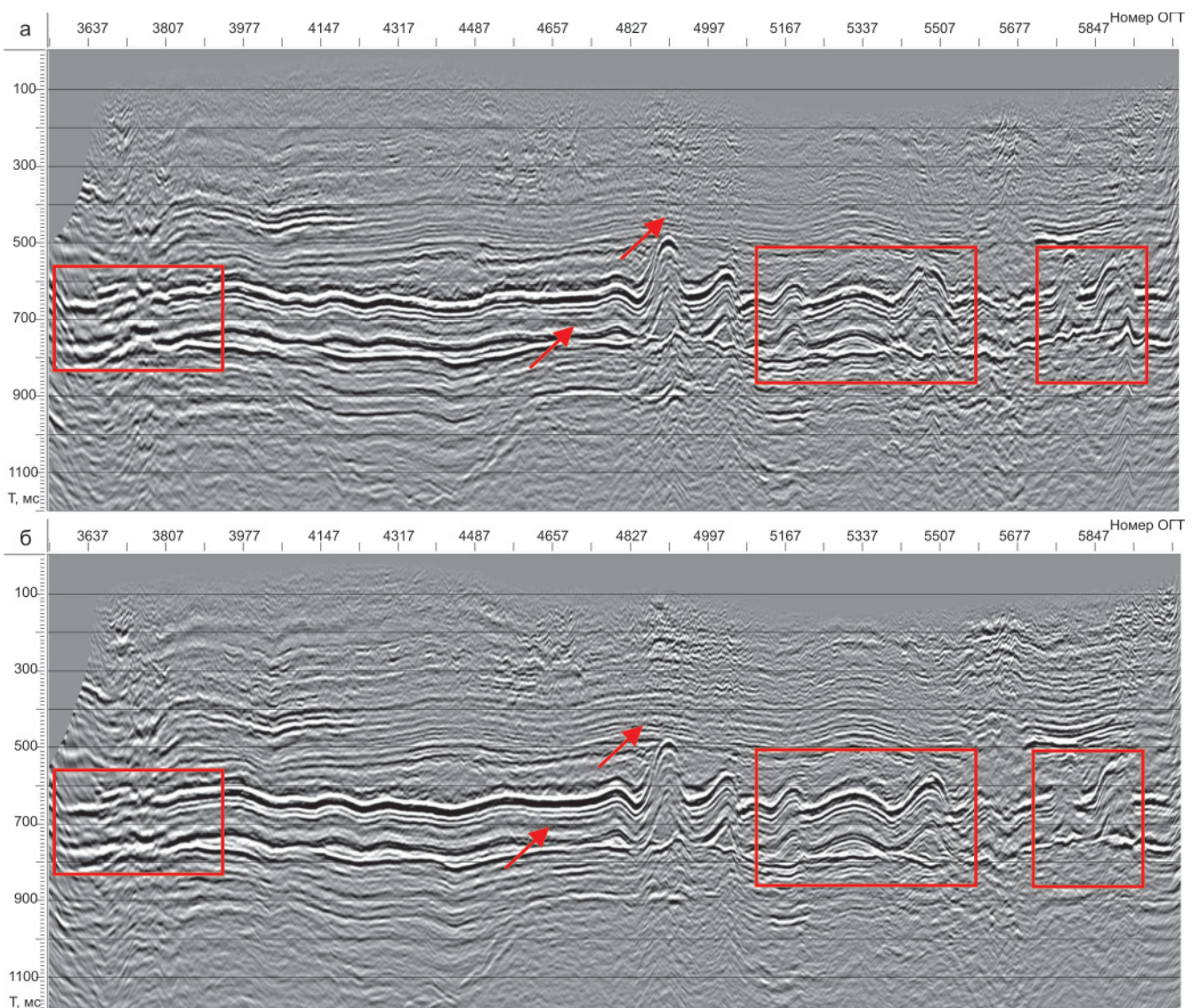


Рис. 8. Окончательные сейсмические разрезы после временной и глубинной миграции во временном масштабе (а – PSTM, б – PSDM во временном масштабе)

площади и протягивается с юго-запада на северо-восток более чем на 100 км. На юго-западе зона развития шарьяжной структуры постепенно затухает и переходит в зону развития слепого чешуйчатого веера.

На разрезе представлен интересный случай галогенеза в условиях надвиговой тектоники (рис. 10). Наблюдаемая на профиле надвиговая структура субмеридионального простирания представляет собой зону развития взбросо-складок – зону разви-

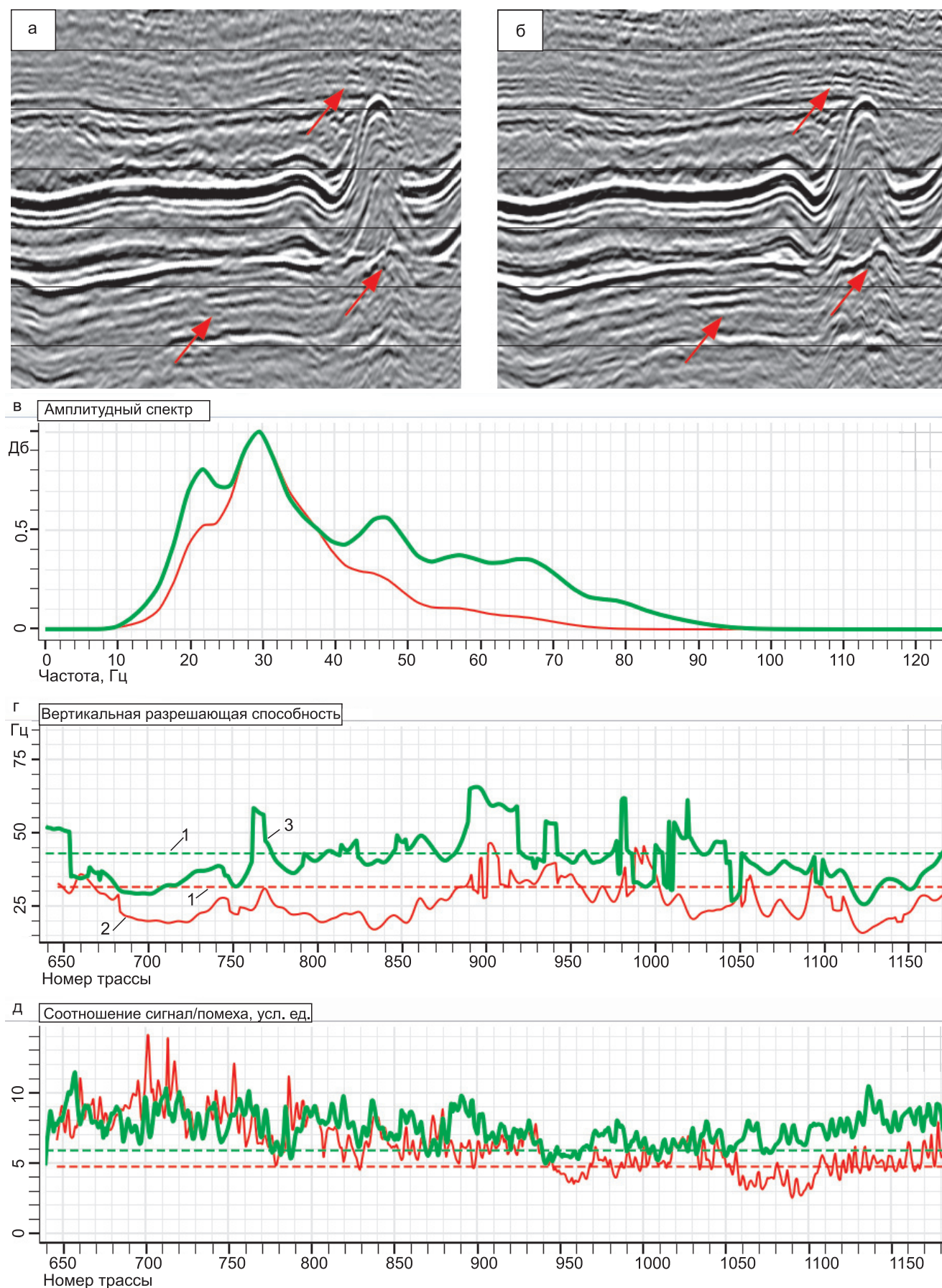


Рис. 9. Сравнение фрагментов временного разреза после PSTM (а) и PSDM (б) во временном масштабе и соответствующая оценка их качества: амплитудные спектры (в); вертикальная разрешенность, Гц (г); соотношение сигнал/помеха (д)

1 – среднее значение, 2 – временная миграция, 3 – глубинная миграция

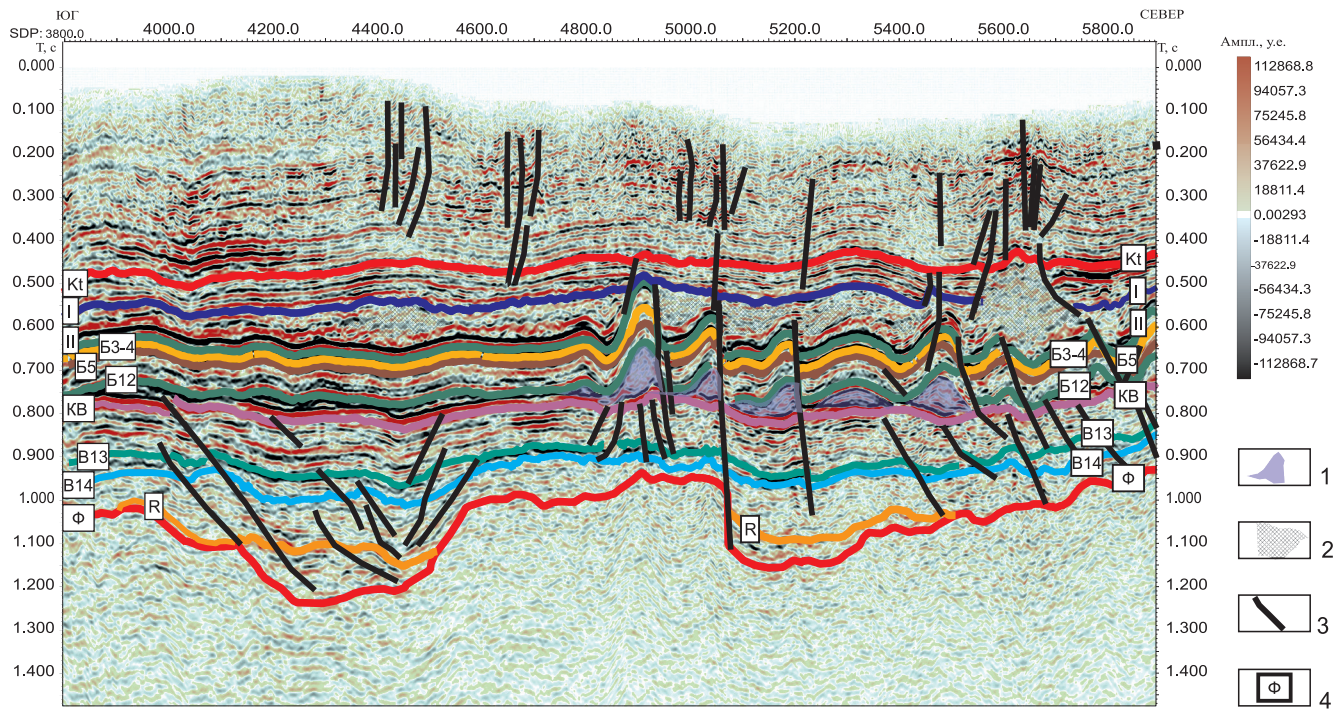


Рис. 10. Сейсмический разрез с корреляцией отражающих горизонтов

1 – «подушки» торсальских солей; 2 – «подушки» и линзы юрегинских солей; 3 – разрывные нарушения; 4 – отражающие горизонты (Ф – кровля кристаллического фундамента, кровли отложений: R – рифея, B14 – вилючанского горизонта, B13 – талахской свиты, KB – терригенного венда, B12 – преобразенского горизонта, Б5 – юряхского III горизонта, Б3-4 – юряхских I–II горизонтов, II – билирской свиты, I – юрегинской свиты, Kt – нижней подсвиты толбачанской свиты)

тия антиклинальных складок продольного изгиба со срывами вдоль осевых поверхностей, в результате которых образуются взбросы той же вергентности. Складки, не осложненные взбросами, относятся к складкам срыва и формируются при наличии пластичных слоев солей, по которым трассируется детачмент. На представленном сейсмическом разрезе такие складки отражены наиболее ярко.

Отражающий горизонт (ОГ) Ф прослежен по кровле кристаллического фундамента, рельеф которого характеризуется блоковым строением: центральная часть разреза представлена поднятием с крутыми склонами, осложненными разрывными нарушениями. Наиболее погруженные области заполнены конгломератовыми отложениями рифея (ОГ R). Кровлю фундамента и рифейских отложений с перерывом перекрывает вендский подсолевой терригенный комплекс, для которого не характерны пластические деформации, но свойственно преобладание разрывных нарушений взбросового характера. Терригенные отложения в погруженном блоке в южной части разреза нарушены комплексом веерных разломов с признаками «выдавливания» отложений, что отчетливо интерпретируется на отражающих горизонтах B14 и B13. Кровля терригенного комплекса (ОГ KB) частично деформирована малоамплитудными разрывными нарушениями взбросово-надвигового характера.

Карбонатный подсолевой комплекс (ОГ KB-II) на представленном разрезе в большей мере под-

вержен пластическим деформациям за счет тектонической активизации, северо-восточнее вызвавшей надвиговые дислокации шарьяжного типа. В условиях сжатия карбонатный комплекс, в основании которого залегает пласт торсальских солей, а в кровле в составе юрегинской свиты (ОГ I–II) также присутствуют мощные соляные отложения, формирует взбросо-складки. В замках антиклинальных складок отчетливо интерпретируются раздувы – «подушки» торсальских солей, которые образовались за счет перераспределения соляной толщи в условиях сжатия. Сходная картина наблюдается в толще юрегинской свиты, где массы солей также претерпевали пластическое перераспределение и накапливались в виде «подушек» и линз в замках синклиналиных складок. В северной части представленного разреза наблюдается исключительный случай прорыва солей в вышележащие отложения (выше ОГ I).

Выводы

Применение комбинированного подхода с последующим уточнением глубинно-скоростной модели методом сеточной томографии повысило качество фокусировки сейсмического изображения в сложно построенных средах.

Интегрированный подход позволил существенно сократить затраты времени на исследования и вычисления за счет меньшего числа итераций уточнения исходной ГСМ, потребовавшихся для спрямления годографов отраженных волн.

Методы когерентной инверсии и ограниченной инверсии скорости не смогли обеспечить спрямления годографов, поскольку геологическая среда исследуемой площади сложная, количество горизонтов по площади слишком мало, кроме того, они не охватывают всей толщи и прослеживаются мозаично, что подчеркивает необходимость применения интегрированного метода построения ГСМ.

Проведенные работы позволили с большей уверенностью трассировать разрывные нарушения, в том числе и мелкомасштабные. Повышенная детальность разреза позволяет уверенно проследить кровлю кристаллического фундамента, развитие и поведение пластичных тел в условиях надвиговой тектоники. Кроме того, они дали возможность впервые интерпретировать и описать тектонические изменения в терригенном комплексе, считавшимся ранее недеформированным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воскресенский Ю. Н.** Построение сейсмических изображений: учебное пособие для вузов. – М.: РГУ НГ, 2006. – С. 55–77.
2. **Ильин С. Н., Воцалевская И. А., Романенко М. Ю.** Построение глубинно-скоростных моделей в стратиграфической сетке // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 4. – С. 51–59.
3. **Половников С. С., Табрин В. Л., Шабалин С. В.** Кинематическая обработка сейсморазведочных данных, полученных в сложных сейсмогеологических условиях // Вести газовой науки. – 2018. – № 3(35). – С. 315–321.
4. **Применение** технологии полноазимутальной угловой миграции для исследований терригенных коллекторов на примере одного из месторождений Восточной Сибири / А. Н. Иноземцев, А. С. Сорокин, П. П. Емельянов, Л. Н. Шакирзянов // Геофизика. – 2017. – № 4. – С. 26–32.
5. **Степанов А. В.** Обработка сейсмических данных: учебно-методическое пособие к курсам повышения квалификации «Петрофизика и геофизика в нефтяной геологии». – Казань: КазГУ, 2013. – 4 с.
6. **Технология** уточнения глубинно-скоростной модели неоднородной земной среды и получение высокоразрешенного изображения по сейсмическим данным с применением суперкомпьютера «Ломоносов» / О. Б. Адамович, Г. Н. Гогоненков, А. П. Жуков, А. Л. Плешкевич // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2012. – Т. 40, № 2. – С. 37–45.
7. **Complex** salt model building using a combination of interactive imaging and layer stripping RTM /

Bin Wang, Chuck Mason, Kwangjin Yoon, et al. // First Break. – 2011. – Vol. 29. – P. 47–54.

8. **Fomel S.** Applications of plane-wave destruction filters // Geophysics. – 2001. – No. 67 (10). – Available at: <https://doi.org/10.1190/1.1527095>.

9. **Robein E.** Velocities, time-imaging and depth imaging in reflection seismics principles and methods. – EAGE Publication, 2003. – 464 p.

REFERENCES

1. Voskresenskiy Yu.N. *Postroeniye seismicheskikh izobrazheniy. Uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Seismic imaging. Study guide]. Moscow, Gubkin University of Oil and Gas Publ., 2006, pp. 55–77. (In Russ.).
2. Ilyin S.N., Votsalevskaya I.A., Romanenko M.Yu. [Velocity modeling in a stratigraphic grid]. *Tekhnologii seismorazvedki – Seismic Technologies*, 2012, no. 4, pp. 51–59. (In Russ.).
3. Polovnikov S.S., Tabrin V.L., Shabalin S.V. [Kinematic processing of seismic data obtained in complex seismic and geological conditions]. *Vesti gazovoy nauki*, 2018, no. 3(35), pp. 315–321. (In Russ.).
4. Inozemtsev A.N., Sorokin A.S., Emelyanov P.P., Shakirzyanov L.N. [Application full-azimuth angle domain migration technology in the study of terrigenous reservoir for example of the fields in Eastern Siberia, case study]. *Geofizika – Russian Geophysics*, 2017, no. 4, pp. 26–32. (In Russ.).
5. Stepanov A.V. *Obrabotka seismicheskikh danykh: uchebno-metodicheskoye posobiye k kursam povysheniya kvalifikatsii “Petrofizika i geofizika v neftyanoy geologii”* [Seismic data processing: Text-book to the extension course “Petrophysics and geophysics in oil geology”]. Kazan, Kazan University Publ., 2013, 4 p. (In Russ.).
6. Adamovich O.B., Gogenkov G.N., Zhukov A.P., et al. [Technology for refining the velocity-depth model of inhomogeneous earth environment and obtaining a high-resolution image from seismic data using a supercomputer]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Devices and Systems of Exploration Geophysics*, 2012, vol. 40, no. 2, pp. 37–45. (In Russ.).
7. Bin Wang, Mason Ch., Kwangjin Yoon, et al. Complex salt model building using a combination of interactive imaging and layer stripping RTM. *First Break*, 2011, vol. 29, pp. 47–54.
8. Fomel S. Applications of plane-wave destruction filters. *Geophysics*, 2002, No. 67(10). Available at: <https://doi.org/10.1190/1.1527095>.
9. Robein E. Velocities, time-imaging and depth imaging in reflection seismics principles and methods. EAGE Publication, 2003. 464 p.

© А. С. Юнашева, Б. Н. Недомовный,
Е. В. Мосягин, М. Н. Шапорина, 2021