



УДК 550.834.5.05(571.5)

СТРУКТУРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ МОГТ В СЛОЖНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Н. В. Труфанова, Е. В. Теменёва, И. П. Стрельченко, В. А. Заравняев

На примере конкретной площади исследований рассмотрены методические и технологические особенности структурной интерпретации данных МОГТ в сейсмогеологических условиях Восточной Сибири. Представлен подход, углубляющий стандартную методику посредством привлечения широкого комплекса априорной информации (результатов геологических и сейсмотомографических исследований приповерхностного разреза (ВЧР), результатов интерпретации данных магнито- и гравиразведки, а при оценке скоростных и глубинных параметров целевых отражающих горизонтов – материалов бурения, скважинной сейсморазведки и каротажа). В сейсмогеологических условиях юга Сибирской платформы для глубинных построений эффективно использование технологии GeoDepth (Paradigm). Комплексная интерпретация данных позволила выполнить оптимизацию границ ВЧР и построить структурно-тектонический каркас (Solid Model, GeoDepth, Paradigm), который затем был «заполнен» интервальными скоростями. Эффективность параметризации ВЧР с учетом тектонического строения площади оценивалась по результатам миграции времен в глубины. При восстановлении границ подсолевого комплекса в рамках блоковой модели погрешность структурных построений уменьшилась в 2 раза, значительно улучшилось качество суммирования глубин.

Ключевые слова: сейсморазведка МОГТ, структурная сейсмика, сейсмотомография, структурно-тектонический каркас, комплексирование геофизических методов.

CDP DATA STRUCTURAL INTERPRETATION IN COMPLEX SEISMIC CONDITIONS OF EAST SIBERIA

N. V. Trufanova, E. V. Temenyova, I. P. Strelchenko, V. A. Zaravnyaev

On considering methodical and technological approaches to the CDP data structural interpretation in seismic conditions of East Siberia an approach improving the standard technique by means of a wide complex of a priori information, namely results of geological and seismotomographic studies of the shallow subsurface (SS), magnetic and gravity data interpretation in evaluating velocity parameters and target reflecting horizon depths, evidence from drilling, borehole seismics and logging is presented. The authors implement the GeoDepth (Paradigm) technology. It includes procedures of radial and wave-equation migration and allows to take into account a priori medium characteristics in the travelttime interpretation of seismic data. Using the results of integrated interpretation of seismic tomography, geological and magnetic survey, they optimized SS boundaries and built a geotectonic skeleton frame (Solid Model, GeoDepth, Paradigm) which was “filled up” with interval velocities later on. The efficiency of SS parameterization with regard to the tectonic structure of the area was evaluated by depth and time migration results. In the reconstruction of a subsalt complex within the frame of a block model structural imaging the errors were halved and depth summation quality was improved.

Keywords: CDP survey, structural seismology, seismic tomography, geotectonic skeleton frame, combinations of geophysical methods.

Методика структурной интерпретации сейсмических данных в геологических условиях Восточной Сибири предполагает широкое применение эмпирических знаний при параметризации геологического разреза. В качестве априорных данных используются результаты геологических и сейсмотомографических исследований приповерхностного разреза (ВЧР), результаты интерпретации данных магнито- и гравиразведки, а при оценке скоростных параметров и результатов определения глубин целевых отражающих горизонтов – данные бурения, скважинной сейсморазведки и каротажа.

В условиях значительных структурно-литологических неоднородностей как в ВЧР, так и в глубокой частях осадочного чехла на юге Сибирской платформы для построения моделей отражающих горизонтов эффективно использование технологии GeoDepth (Paradigm). Этот программный комплекс включает процедуры лучевой и волно-

вой миграции и позволяет при кинематической интерпретации сейсмических данных учитывать априорные характеристики среды.

На основе анализа результатов ГИС, СК и ВСП (примерно 1500 скважин глубокого бурения) специалистами ОАО «Иркутскгеофизика» выполнено районирование глубин залегания и вертикальных времен целевых горизонтов, а также районирование скоростей в опорных литолого-стратиграфических интервалах разреза. Построены региональные площадные (2D) и пространственные (3D) модели кинематических параметров [9].

При построении структурной модели в сложных тектонических условиях, интерпретатор, опираясь на концепцию истории геологического развития территории, реализует принцип «от региональных представлений к локальному уточнению». Понятно, насколько важно владеть достаточным объемом достоверной априорной

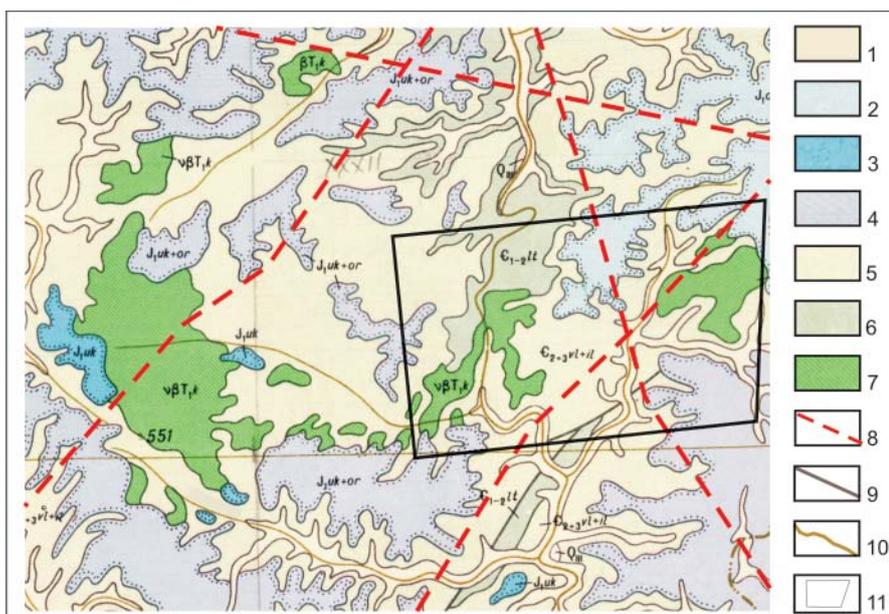


Рис. 1. Обзорная геологическая карта площади исследования

1 – четвертичная система, верхний отдел, аллювиальные отложения; 2 – юрская система, нижний отдел, оруктахская свита; 3 – юрская система, нижний отдел, усть-кутская свита; 4 – юрская система, нижний отдел, укугутская и оруктахская свиты; 5 – кембрийская система, средний – верхний отделы, верхоленская, илгинская свиты; 6 – кембрийская система, нижний – средний отделы, литвинцевская свита; 7 – нерасчлененные интрузии траппов; тектонические нарушения, выделенные по результатам: 8 – интерпретации данных магниторазведки, 9 – геологосъемки; 10 – гидросеть; 11 – контур участка работ

информации и современными компьютерными технологиями.

В нашем случае структурно-тектоническая модель площади исследований – результат детализации априорных представлений с помощью данных, полученных после обработки и интерпретации материалов МОГТ.

В статье представлены методические и технологические подходы к построению структурно-тектонической модели осадочного чехла на одной из площадей региона, осложненной распространением трапповых интрузий (рис. 1). Акцент сделан на создании скоростной модели ВЧР на основе анализа данных, расположенных в пределах участков (блоков) разной геолого-тектонической приуроченности.

Построение глубинно-скоростной модели разреза по сейсмическим данным

Наряду с региональной тенденцией увеличения и стабилизации скорости с глубиной [1] на площади исследований наблюдаются особенности сейсмогеологического строения:

- значительные (1500–6000 м/с) изменения скоростей в надсолевом структурном этаже осадочного чехла, связанные с неоднородностью литологического состава пород;
- дислоцированность солевой части осадочного чехла;
- разрывная и надвиговая тектоника, осложненная распространением трапповых интрузий разных форм (силлы, штоки, дайки).

Для решения структурных задач на площади применена уже ставшая в ОАО «Иркутскгеофизика» стандартной в сейсмогеологических условиях Восточной Сибири методика, включающая следующие этапы [11]:

1. Построение априорной структурно-тектонической модели осадочного чехла.

2. Формирование глубинно-скоростной модели ВЧР.

3. Выбор опорных стратиграфических интервалов осадочного чехла и расчет в них скоростей.

4. Структурные построения опорных и целевых отражающих горизонтов с применением лучевой миграции.

5. Построение глубинно-скоростной модели осадочного чехла и преобразования времен в глубины в рамках этой модели.

6. Оценка точности структурных построений.

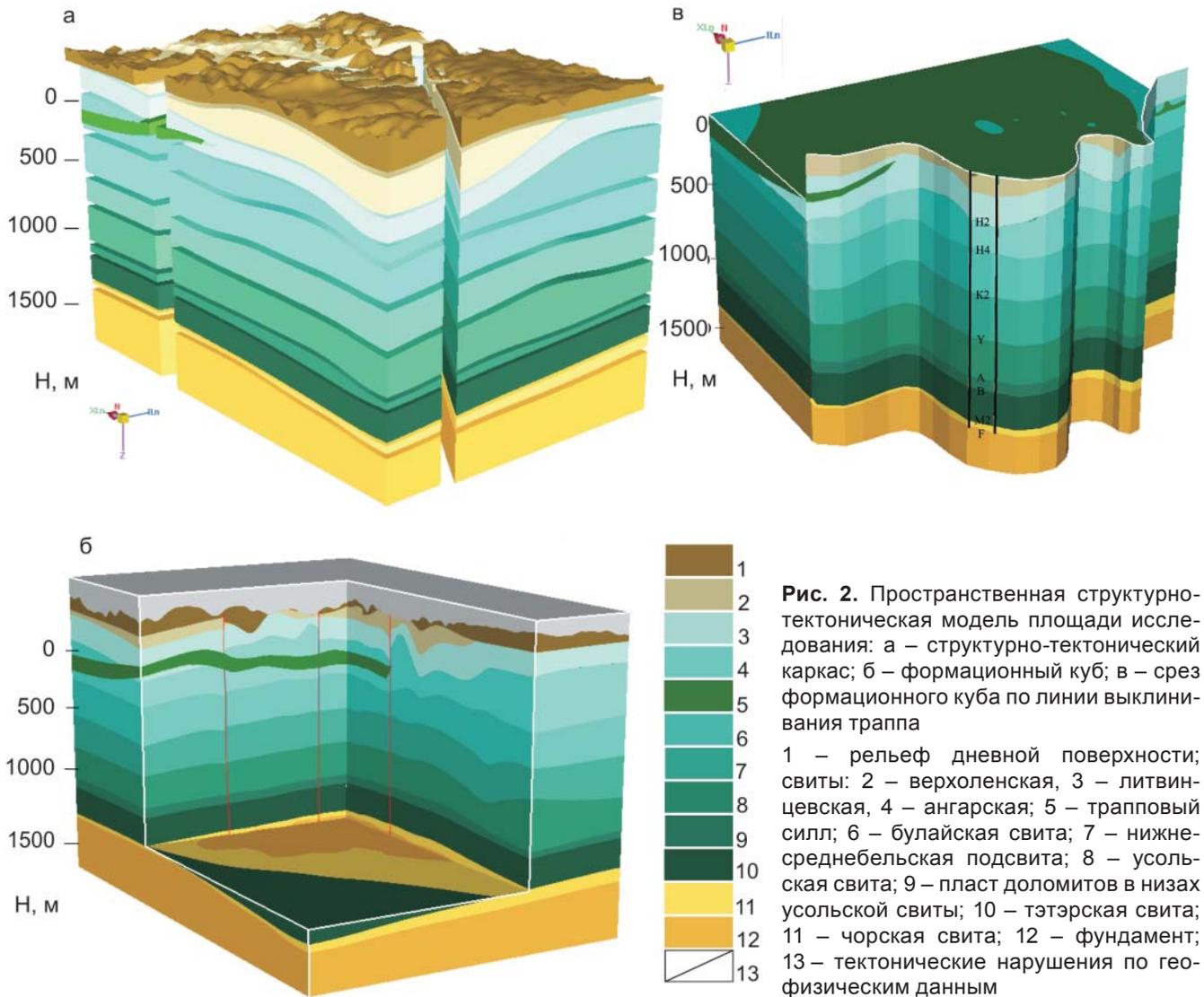
Построение априорной структурно-тектонической модели разреза

Технология построения априорной пространственной структурно-тектонической модели реализована на базе программного комплекса Solid Model (Paradigm) [10]. В основу тектонических представлений положена карта разломов юга Восточной Сибири под редакцией П. М. Хренова (1982).

По данным глубокого бурения проанализированы основные структурные градиенты. Построены структурные карты и пространственные модели глубин опорных стратиграфических горизонтов, а также кровли и подошвы траппового силла, фрагментарно расположенного на изучаемой площади.

Проведено согласование поверхностей и построение структурно-тектонической модели. Согласованная модель затем трансформирована в формационный куб (рис. 2).

Полученные априорные представления о модели разреза использовались на всех этапах кинематической интерпретации: при формализации глубин и скоростей модели осадочного чехла, при структурном моделировании и оценке точности построений глубин, при оптимизации скоростной модели.



Параметризация ВЧР

Априорные данные для параметризации ВЧР получены по результатам обработки времен первых вступлений сейсмограмм ОПВ (GMG, Green Mounting Geophysical).

Технология построения модели ВЧР включает:

1. Расчет томографических приповерхностных глубинно-скоростных разрезов.
2. Корреляцию границ скоростных неоднородностей на этих глубинно-скоростных разрезах.
3. Определение скоростей в выделенных интервалах разреза.
4. Построение глубинно-скоростной модели ВЧР от дневной поверхности до линии приведения.
5. Расчет модельных статических поправок в рамках формализации разреза в глубинной области. Полученные поправки представляют собой временные сдвиги в интервале от дневной поверхности до линии приведения и используются при миграции времен в глубины.

На глубинно-скоростных разрезах ВЧР площади исследований выполнена корреляция глу-

бин трех пластов (рис. 3). Положение третьего преломляющего горизонта, отождествляемого с кровлей ангарской свиты, уточнено по данным глубокого бурения. Для каждого пласта рассчитаны скорости. Полученная детальность модели ВЧР ориентирована на учет неоднородностей разреза по простиранию около 1–2 км.

Построение модели ВЧР с учетом тектонических нарушений

На площади проведены опытные работы по оценке влияния тектонических нарушений, расположенных в ВЧР, на результаты прелестек-миграции. На сечениях, осложненных тектоническими нарушениями, были выполнены лучевая и волновая миграции временных сейсмограмм ОГТ в глубины с учетом и без учета разломов в ВЧР (рис. 4) и получены соответствующие суммарные глубинные разрезы.

Сопоставление глубин целевых горизонтов, построенных как при слоистой (без учета тектоники), так и при блоковой (с учетом тектоники) аппроксимации ВЧР с данными бурения показало существенное уменьшение погрешности во втором случае (см. рис. 4, а, б). Учет тектоники позво-

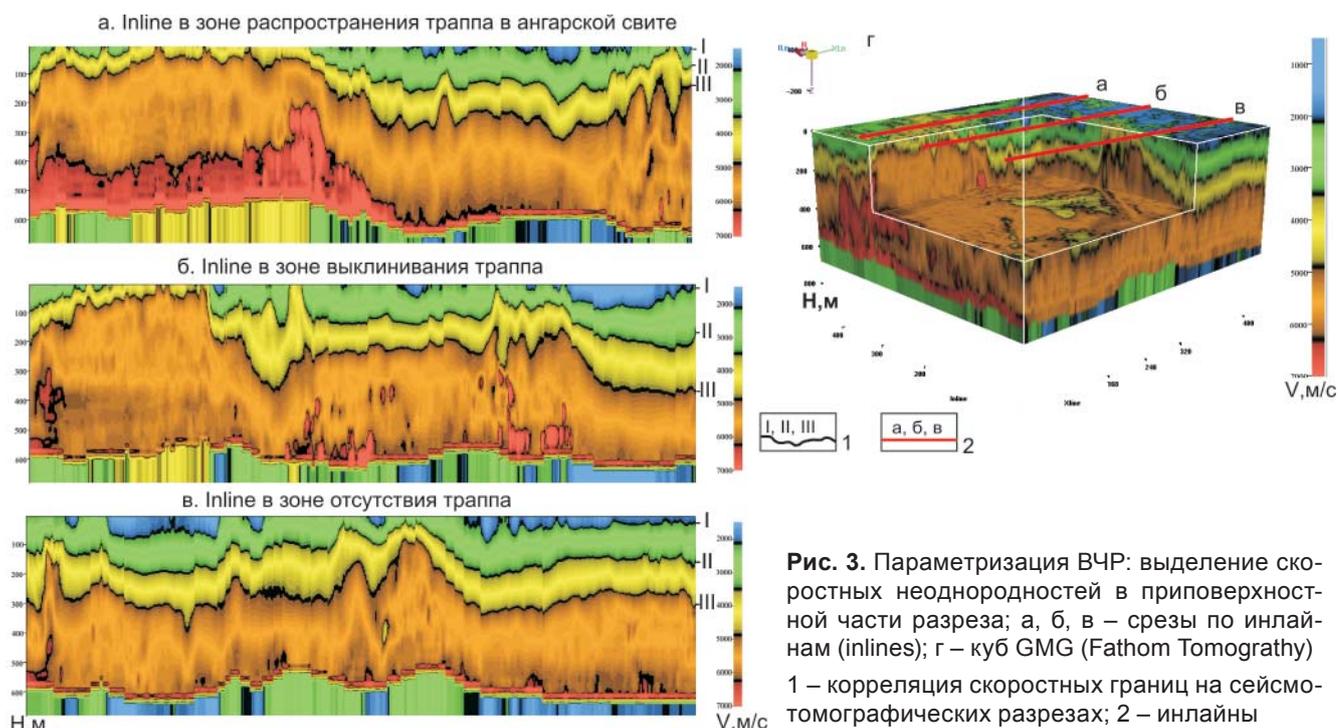


Рис. 3. Параметризация ВЧР: выделение скоростных неоднородностей в приповерхностной части разреза; а, б, в – срезы по инлайнам (inlines); г – куб GMG (Fathom Tomography) 1 – корреляция скоростных границ на сейсмотомографических разрезах; 2 – инлайны

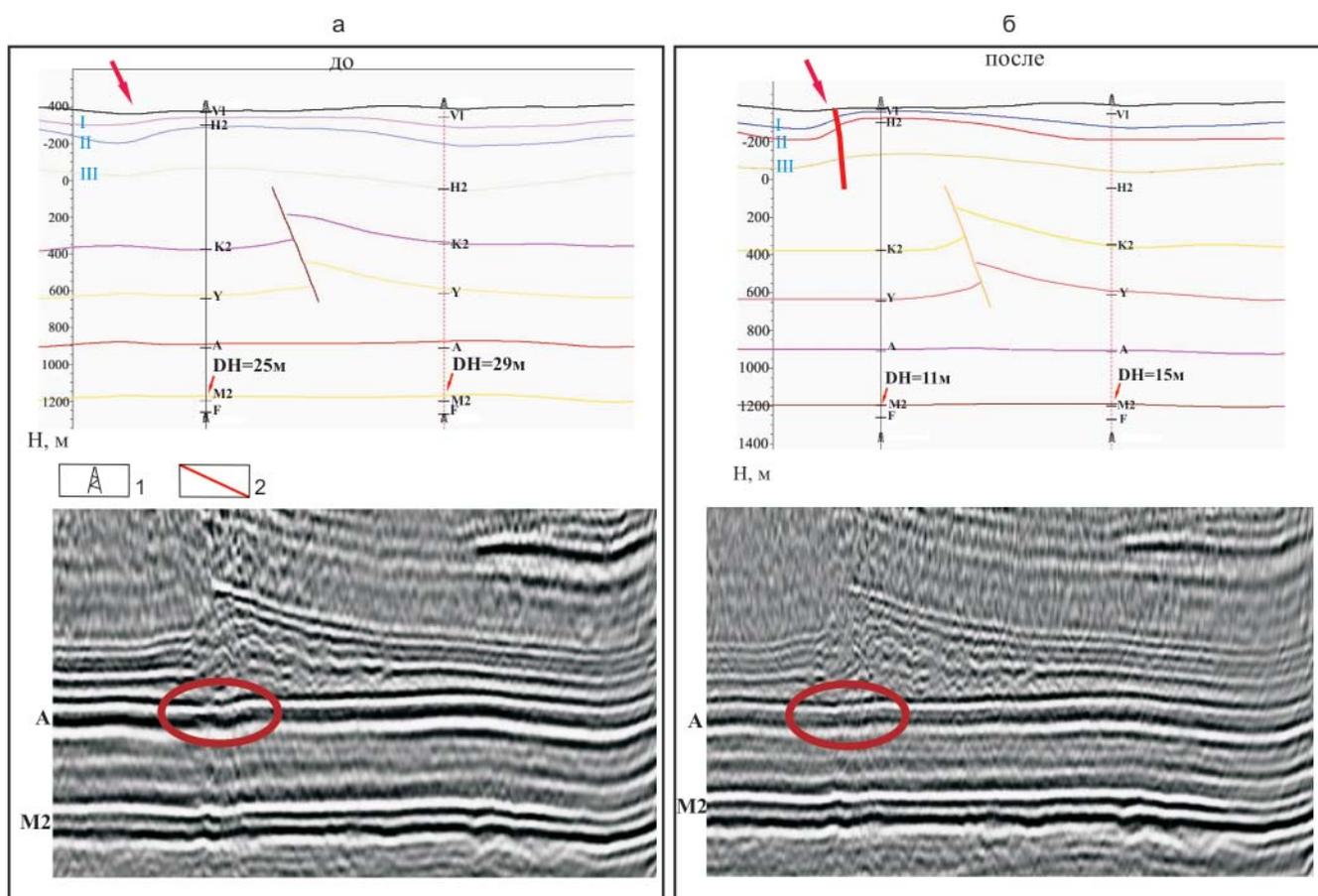


Рис. 4. Сопоставление результатов миграции времен в глубины, полученных без учета (а) и с учетом (б) тектоники в ВЧР (результаты лучевой и волновой миграции, выполненной в рамках модели ВЧР: а – слоистой; б – блоковой 1 – скважины глубокого бурения с маркерами глубин целевых горизонтов; 2 – тектонические нарушения

лил скорректировать «ход» луча и, соответственно, улучшить качество суммирования в глубинной области.

Таким образом, модель ВЧР на площади строилась с учетом тектонического строения (рис. 5, а).

При выделении скоростных блоков использовались результаты интерпретации магниторазведочных данных, а именно: карта локальной составляющей магнитного поля. Оси тектонических нарушений, идентифицированные по карте, сопо-

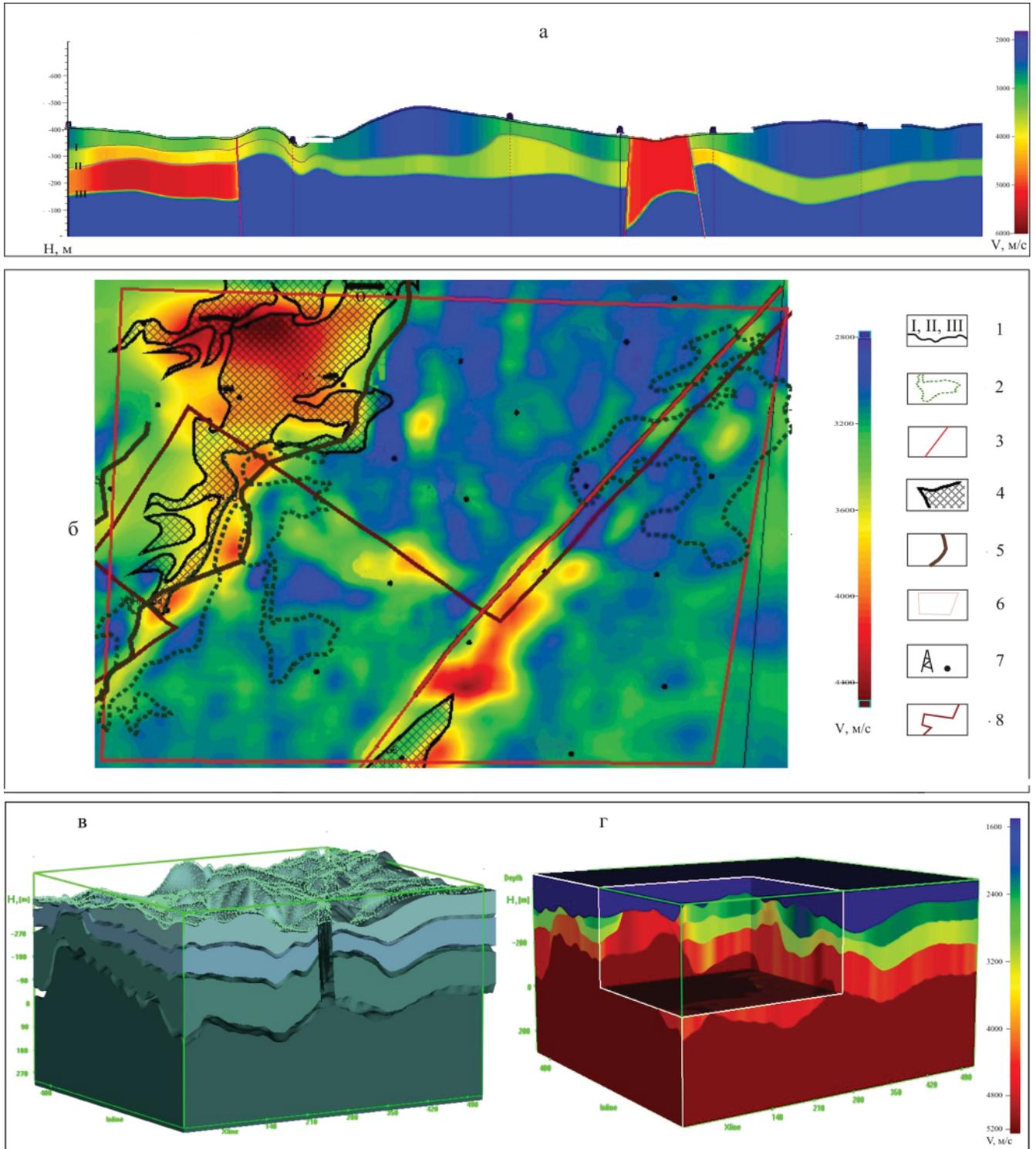


Рис. 5. Технология построения глубинно-скоростной модели ВЧР: а – параметризация ВЧР в рамках блоковой модели; б – сопоставление скоростей ВЧР, полученных по данным сейсмотомографии, с данными приповерхностной геологии и магниторазведки; в – структурно-тектоническая модель; г – глубинно-скоростной куб ВЧР

1 – глубины преломляющих скоростных границ ВЧР; 2 – нерасчищенные интрузии траппов; 3 – разрывные нарушения; 4 – отложения литвинцевской свиты; 5 – граница резких скоростных градиентов; 6 – контур участка работ; 7 – скважины глубокого бурения; 8 – линия выклинивания траппового силла в ангарской свите

ставлялись с границами скоростных градиентов. Для подтверждения правомерности комплексного подхода сделаны количественные оценки соответствия изменений скорости в ВЧР и локальной составляющей магнитного поля. Применен геостатистический подход (кокринг). Коэффициент корреляции (ковалидации) составил 0,94 [2].

Совместный анализ скоростных блоков ВЧР с данными геологической съемки позволил уточнить природу скоростных неоднородностей. Так, например, повышение скоростей на западе площади связано с литологией, а именно, с выходами на поверхность пород литвинцевской свиты. Серия линейных локальных скоростных аномалий,

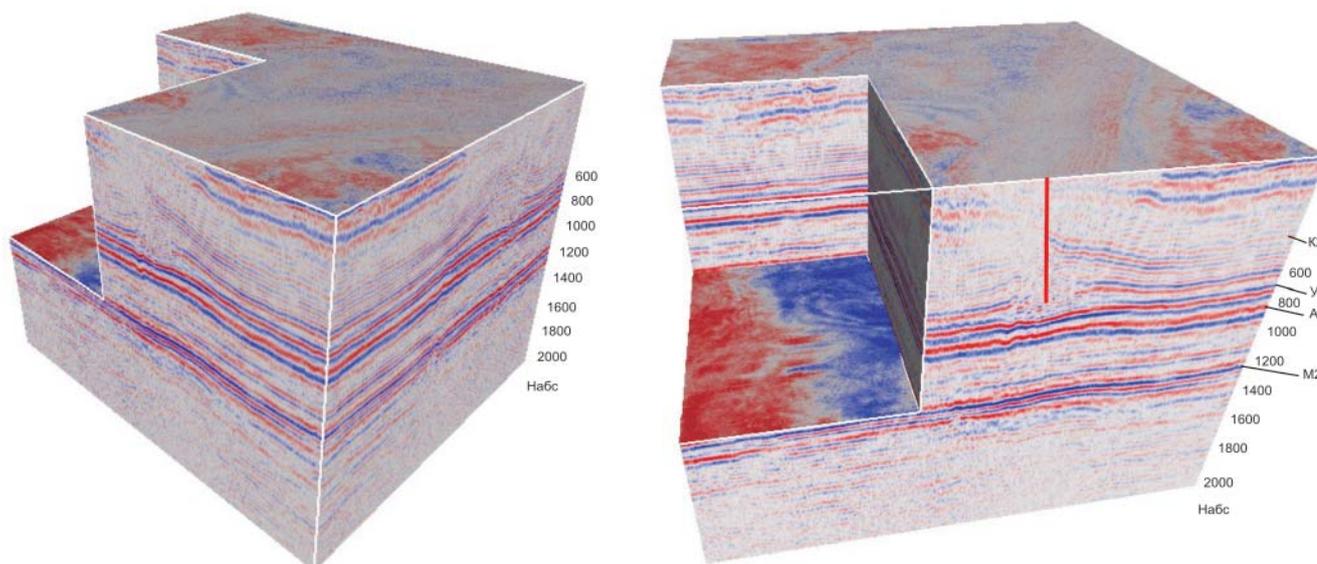


Рис. 6. Глубинный динамический куб от линии приведения (K2, У, А, М2 – глубины целевых отражающих горизонтов, красная линия – тектоническое нарушение)

расположенных на востоке площади (вдоль оси вала), совпадает с выделенным разломом и связана, по всей видимости, с эффузивными образованиями (см. рис. 5, б).

По результатам комплексной интерпретации данных сейсмотомографии, геологической съемки и магниторазведки выполнена оптимизация скоростных границ ВЧР и построен структурно-тектонический каркас, который затем был «заполнен» интервальными скоростями (см. рис. 5, в, г).

Структурные построения глубокой части осадочного чехла по сейсмическим данным. Миграция

Лучевая миграция времен в глубины выполнена путем трассирования лучей от дневной поверхности с учетом неоднородностей покрывающей толщи и в соответствии с корреляцией времен отражений на временных разрезах.

Интервалы для расчета скоростей миграции выбраны в результате структурного моделирования [11]. Основные задачи моделирования – подбор устойчивой толстослойной модели для трансформации времен в глубины и оценка точности преобразований.

На площади работ последовательно восстановлены глубины следующих отражающих горизонтов: K2 (кровля ниже-среднебельской подсвиты); У (кровля усольской свиты); А (кровля осинского пласта доломитов в низах усольской свиты); М2 (кровля тирской свиты).

В результате кинематической обработки и интерпретации сейсмических данных МОГТ построены структурные карты целевых отражающих горизонтов, глубинно-скоростной куб от дневной поверхности и глубинный динамический куб от линии приведения (рис. 6). Структурные карты калиброваны на скважины глубокого бурения с помощью алгоритмов геостатистики.

Получены вероятностно-статистические оценки точности структурных построений, в межскважинном пространстве. Для целевых горизонтов с вероятностью 97 % прогнозная точность построения глубин горизонтов солевой части разреза (K2, У, А) составляет 25–30 м, горизонта подсолевой части разреза (М2) – 17 м.

Выводы

1. Перспективы структурной сейсморазведки на юге Сибирской платформы связаны с интегрированной интерпретацией геолого-геофизических данных. Согласование результатов методных интерпретаций по комплексу физических полей (сейсмического, магнитного, гравитационного, электрического) и синтез критериев комплексной интерпретации повысит достоверность параметризации геологического разреза, прежде всего в его приповерхностной части [6].

Для выявления соответствия в распределениях результативных параметров разных методов в геостатистике более гибким является непараметрический подход, так как предварительное задание корреляционно-регрессионной модели может оказаться грубым для описания характеристик разреза [7].

2. С целью уменьшения ошибки структурных построений в сложных сейсмогеологических условиях региона необходимо уточнить характеристики ВЧР, а это невозможно сделать без дополнительной полевой информации даже при самых совершенных технологиях [3, 5].

Как известно, обратные кинематические задачи (ОКЗ) относятся к классу некорректных, т. е. не имеют единственного решения. При недостатке информации о геологическом разрезе устойчивый результат ОКЗ получается за счет регуляризации решения. Но любое «загрубление» модели, в свою очередь, приводит к увеличению погреш-



ности определения глубин и скоростей. Поэтому при интерпретации сейсмических данных МОГТ необходимо привлекать материалы петрофизики, колонкового бурения и ВСП. Это позволит построить модель ВЧР, адекватную геологическому разрезу, и минимизировать погрешность построения глубин отражений.

В наше время, время приоритета маркетинга и экспресс-прогноза, нужны ли вообще скрупулезный палеоанализ и структурно-тектонические обобщения?

Как известно, тектонические дислокации могут как экранировать залежи углеводородов, способствуя их консервации, так и раскрывать структурно-литологические ловушки [4]. Авторы статьи убеждены, что, имея «правильную» структурно-тектоническую основу и «вложив» в нее атрибуты (литологические, динамические, петрофизические и др.), можно выявить истинные тенденции и закономерности, а значит, прийти к достоверному вещественному прогнозу. Заполнение структурно-тектонического каркаса скоростными характеристиками и увязка скоростей с результатами акустического каротажа позволит оценить влияние горизонтальной анизотропии и, соответственно, улучшить качество скоростных оценок и глубинной миграции в целом [8].

Авторы благодарят коллег Е. Е. Казанцеву и Е. В. Тельминову за помощь в подготовке иллюстраций к статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барышев, С. А.** Особенности сейсмических исследований на юге Сибирской платформы [Текст] / С. А. Барышев, В. Д. Клыкова, Н. В. Труфанова // Технологии сейсморазведки. – 2004. – № 2. – С. 48–52.
2. **Демьянов, В. В.** Геостатистика. Теория и практика [Текст] / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
3. **Долгих, Ю. Н.** Базовая модель верхней части разреза как фактор неединственности решения обратной кинематической задачи сейсморазведки МОВ ОГТ [Текст] / Ю. Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 4. – С. 19–26
4. **Компьютерное** структурно-тектоническое моделирование в пакете Paradigm GeoSec для контроля качества интерпретации сейсмических данных [Текст] / Н. З. Мунасыпов, В. А. Балдин, В. В. Макаров, Т. В. Ольнева // Технологии сейсморазведки. – 2010. – № 2. – С. 49–54.
5. **Левин, С. Ф.** Геологическое моделирование сложнопостроенных сред в программном обеспечении Paradigm SKUA [Текст] / С. Ф. Левин, Т. В. Ольнева // Науч. тр. SOCAR. – 2010. – № 3. – С. 56–59.
6. **Методика** выделения опорных глубинных границ изменения физических свойств для решения задач интегрирования геоинформации при региональных геофизических исследованиях [Текст] / В. И. Галуев, С. А. Каплан, А. Н. Черемисина, С. С. Малинина // Геоинформатика. – 2004. – № 1. – С. 50–53.
7. **Никитин, А. А.** Компьютерные технологии комплексной интерпретации геолого-геофизических данных. Современное состояние и перспективы [Текст] / А. А. Никитин, Е. Н. Черемисина // Геоинформатика. – 2000. – № 3. – С. 98–105.
8. **Огородова, И. В.** Оценка анизотропных свойств верхней части разреза по материалам сейсморазведки МОГТ [Текст] / И. В. Огородова // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Пермь : Изд-во ун-та, 2011. – С. 101–102.
9. **Оптимизация** глубинно-скоростной модели и повышение точности миграционных преобразований на основе данных ВСП и ГИС [Текст] / Н. В. Труфанова, Ю. А. Наумова, И. В. Гинзбург, В. А. Заравняев // Технологии сейсморазведки. – 2008. – № 3. – С. 29–34.
10. **Стрельченко, И. П.** Построение структурно-тектонической основы для решения интерпретационных задач МОГТ в сейсмогеологических условиях юга Сибирской платформы [Текст] / И. П. Стрельченко // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований : Матер. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Геонауки-2013». Актуальные проблемы изучения недр. Вып. 13. – Иркутск : НИ ИргТУ, 2013. – С. 266–270.
11. **Труфанова, Н. В.** Построение и оптимизация глубинно-скоростной модели в сейсмогеологических условиях юга Сибирской платформы [Текст] / Н. В. Труфанова, Е. Е. Казанцева // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 2. – С. 37–41.

© Н. В. Труфанова, Е. В. Теменёва,
И. П. Стрельченко, В. А. Заравняев, 2014

ТРУФАНОВА Нина Васильевна

ГИЦ ОАО «Иркутскгеофизика», Иркутск, начальник партии, к.г.-м.н.
E-mail: ntruf@gic.irk.ru

ТЕМЕНЁВА Елена Владимировна

ГИЦ ОАО «Иркутскгеофизика», Иркутск, геофизик 1-й категории
E-mail: scorpylay@mail.ru

СТРЕЛЬЧЕНКО Ирина Петровна

ГИЦ ОАО «Иркутскгеофизика», Иркутск, геофизик 2-й категории
E-mail: IPstrelchenko@mail.ru

ЗАРАВНЯЕВ Вадим Александрович

ГИЦ ОАО «Иркутскгеофизика», Иркутск, геолог 1-й категории
E-mail: office@gic.irk.ru