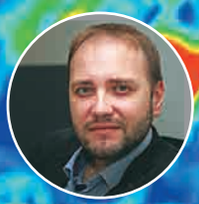
УДК 550.834.05

Р.С. Мельников
ПАО «НК «Роснефть»[1]
управление сейсморазведочных работ
главный специалист
R_melnikov@rosneft.ru

Е.А. Данько
ООО «РН-Эксплорейшн»[2]
геолого-геофизическая служба
группа моделирования и баз данных
главный специалист
eadanko@rn-exp.rosneft.ru

Д.Н. Твердохлебов
канд. техн. наук
ООО «РН-Эксплорейшн»[2]
геолого-геофизическая служба
группа геофизических работ
руководитель
dntverdokhlebov@rn-exp.rosneft.ru



А.Б. Клешнин
ООО «РН-Эксплорейшн»[2]
геолого-геофизическая служба
группа геофизических работ
главный специалист
abkleshnin@rn-exp.rosneft.ru

Интерпретационное сопровождение обработки данных СРР 2Д и 3Д в условиях Восточной Сибири

[1]Россия, 115054, Москва, Дубининская, 31А.
[2]Россия, 121151, Москва, Можайский вал, д. 8, Б/ц «Атлантик»,

В работе рассмотрен подход к интерпретационному сопровождению обработки сейсмических данных в условиях Восточной Сибири. Описаны основные преимущества предложенного подхода, его недостатки и особенности, а также приведены наиболее яркие примеры выполненных работ

Ключевые слова: Восточная Сибирь; сейсморазведка; обработка сейсмических данных; интерпретация сейсмических данных; контроль качества

Сейсмические данные являются одним из основных инструментов управления геологическим рисками при бурении скважин. Чем выше качество сейсмических данных, тем меньше неопределённость сейсмического прогноза и, соответственно, выше вероятность геологической успешности скважины [1]. Повысить качество сейсмического материала на этапе обработки сейсмических данных позволяет процедура интерпретационного сопровождения.

Интерпретационное сопровождение обработки отличается от стандартного контроля качества обработки привлечением априорной геолого-геофизической информации (геологических карт, результатов магниторазведки, информации о разрезе и типах поисковых объектов, а также скважинных данных) к анализу данных на различных этапах обработки.

Итерационное взаимодействие ***«обработка-интерпретация»*** позволяет оперативно выявлять и устранять проблемы обработки, что, в результате, приводит к более эффективному использованию сейсмических данных на этапе интерпретации.

Факторы, влияющие на качество сейсмической записи в условиях Восточной Сибири

С точки зрения интерпретационного сопровождения обработки данных в Восточной Сибири ключевую роль играют сейсмогеологические условия проведения работ: именно с ними связаны многие проблемы при обработке, и, соответственно, основные задачи интерпретационного сопровождения.

К основным факторам, влияющим на качество сейсмической записи в условиях Восточной Сибири, можно отнести:

– большое количество скоростных аномалий различной природы в верхней части разреза (ВЧР), что оказывает влияние не только на итоговый структурный план, но также приводит к снижению или полной потере когерентности сигнала. На этапе обработки в различной степени решать эти проблемы позволяет построение детальных моделей ВЧР, расчет и коррекция статических поправок;

– перепад рельефа более 300 м, обширные гидросети рек, а также интрузии в средней части разреза, что приводит к формированию многочисленных амплитудно-частотных аномалий. Для их компенсации на этапе обработки применяются поверхностно-согласованные процедуры (поверхностно-согласованная коррекция амплитуд, поверхностно-согласованная деконволюция и т.п.);

– большое количество волн-помех различной природы (поверхностные волны, кратные, межслойные кратные, кратно-дифрагированные, обменные и т.д.) [2, 3].

Также стоит отметить общие для всех регионов проблемы увязки съемок различных лет, проведенных с различными методиками полевых наблюдений и типами применяемых источников, а также технические ошибки при выполнении обработки.

Интерпретационное сопровождение обработки сейсмических данных

Для учета перечисленных факторов основные этапы обработки должны сопровождаться контролем со стороны интерпретаторов. Для этого используются сейсмограммы в точках скважин, сечения через интересующие объекты, суммарные кубы амплитуд, а также кубы скоростей в случае глубинной миграции.

Как правило, интерпретационное сопровождение обработки включает:

– анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и оценку сигнала;

– привязку скважинных данных;

– анализ *AVO*-откликов;

– расчет кубов атрибутов (когерентность, спектральная декомпозиция) для оценки применяемых параметров процедур обработки и их влияния на детальность и информативность волновой картины;

– контроль над сохранением геологической информации;

– прослеживание опорных горизонтов в автоматическом режиме для анализа корректности расчёта и ввода статических поправок;

– контроль над увязкой кинематических и динамических параметров различных полевых сезонов и систем наблюдений;

– анализ глубинно-скоростной модели (ГСМ), сопоставление глубин со скважинными данными в случае выполнения глубинной миграции.

Перечисленные процедуры повторяются на ключевых этапах обработки: при расчете статических поправок, деконволюции, применении амплитудно-частотных балансировок, шумоподавлении, регуляризации, миграции, постмиграционной обработки и уточнении ГСМ.

Анализ данных проводится в течение нескольких дней после получения материала и позволяет при необходимости оперативно вносить изменения в граф обработки сейсмических данных. Такой оперативный подход повышает надежность результатов и не оказывает влияния на календарные сроки работ.

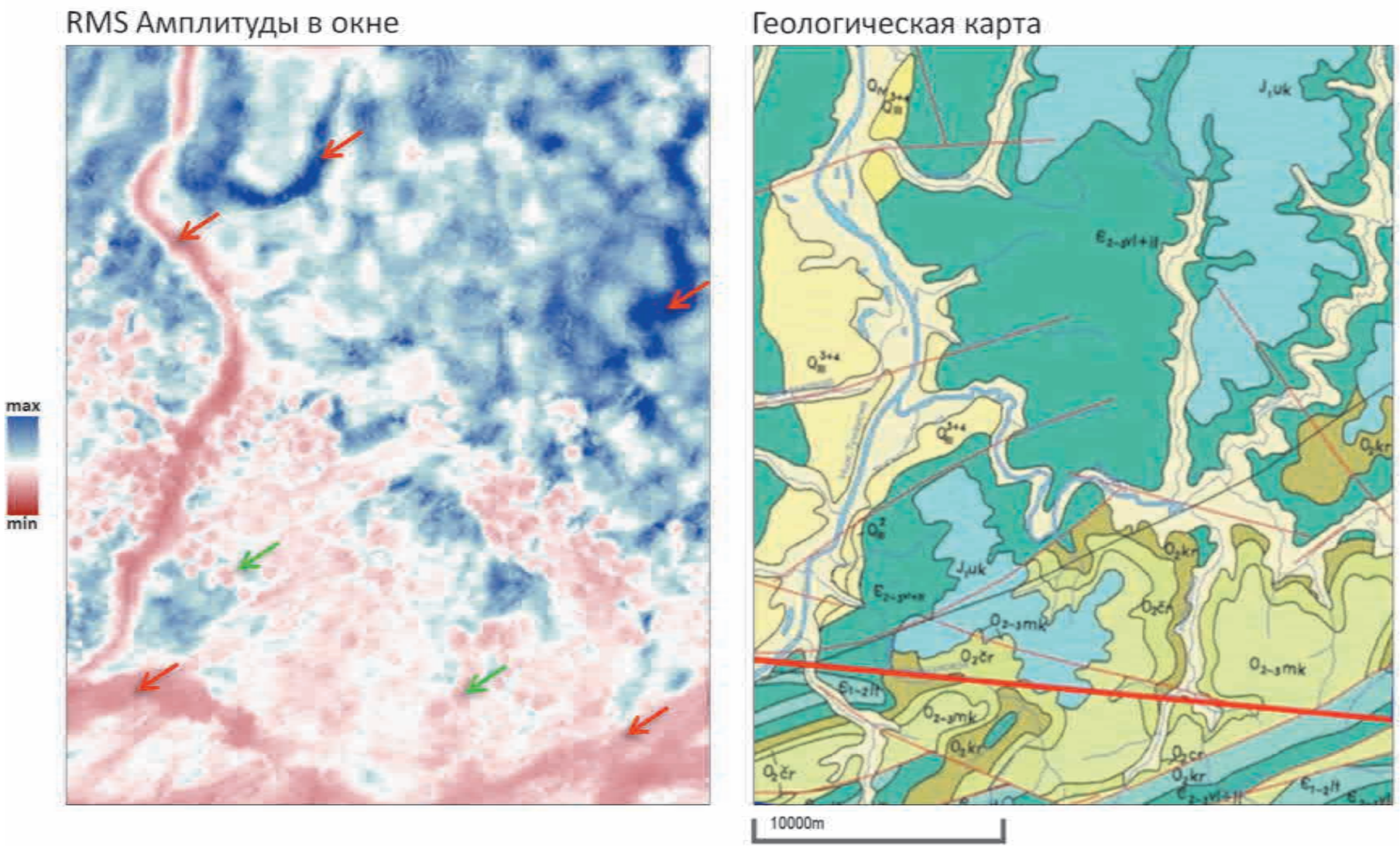


Рис. 1.
Сопоставление карты амплитуд в целевом интервале с геологической картой (красными стрелками на карте амплитуд показаны артефакты, зелеными – реальные геологические объекты)

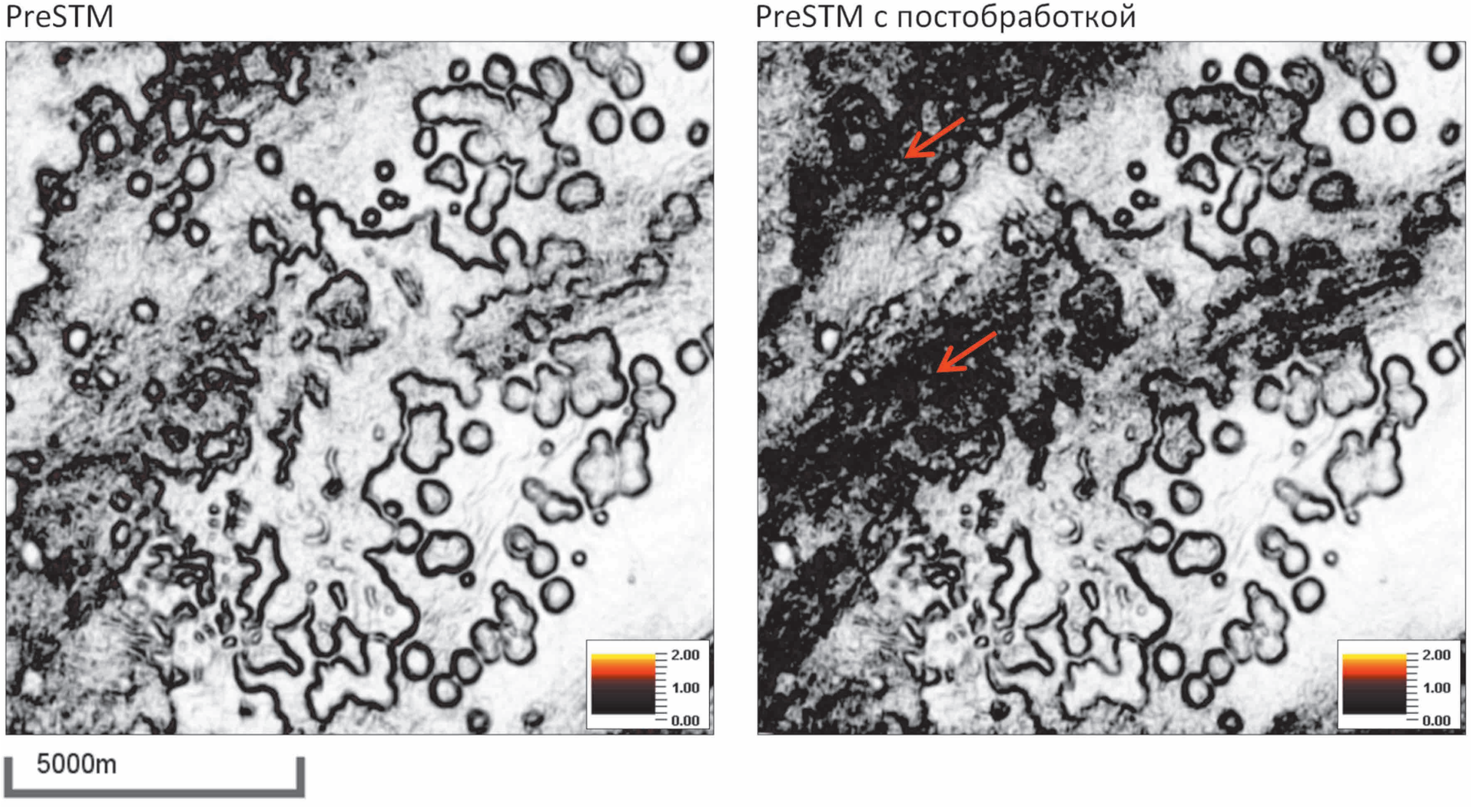


Рис. 2.
Анализ шумоподавления после миграции по карте когерентности в целевом интервале

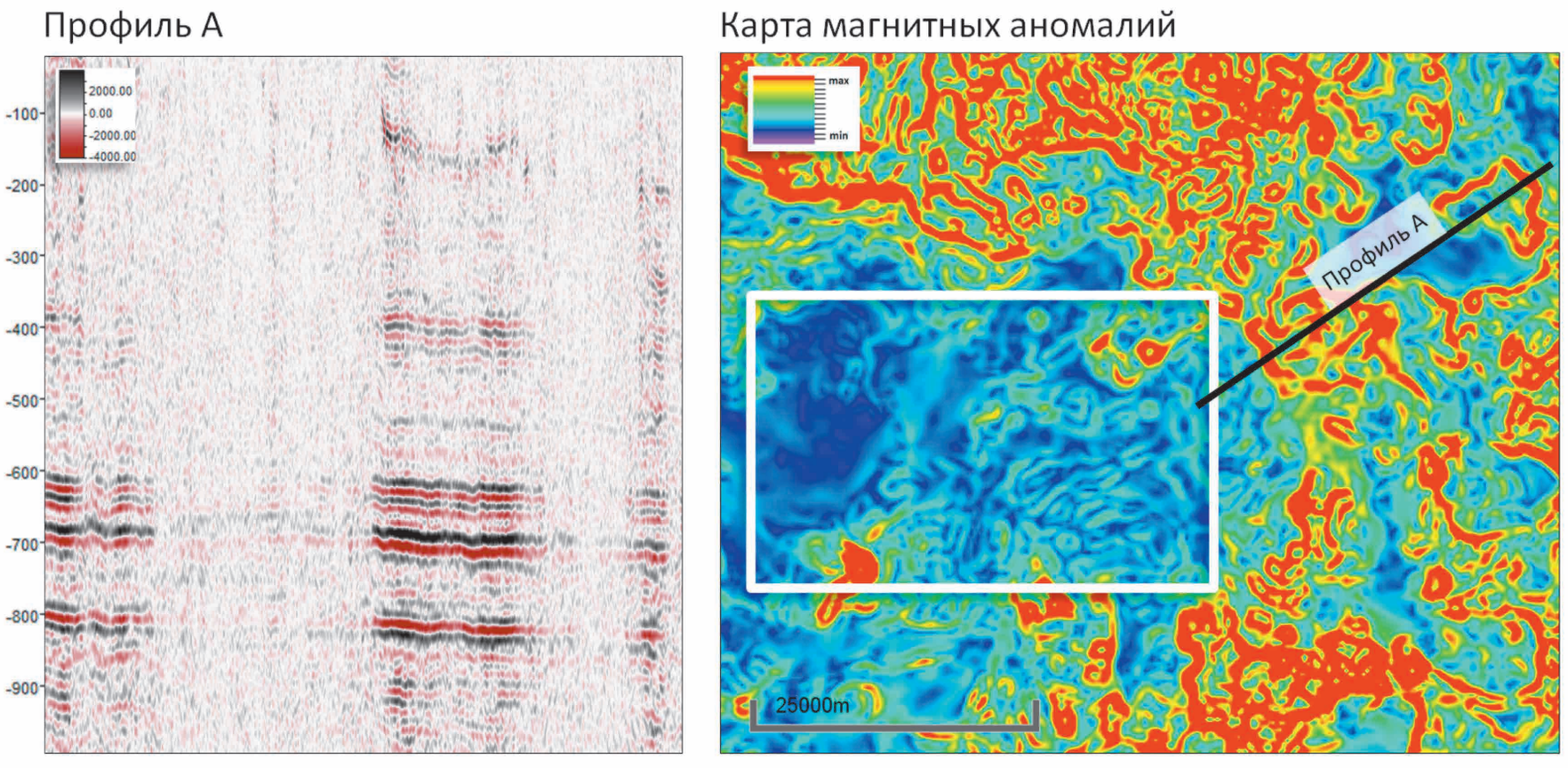


Рис. 3.
Сопоставление качества сейсмического материала с картой магнитных аномали

Интерпретационное сопровождение обработки	
Плюсы	Минусы
Получение кондиционных сейсмических данных в результате обработки	Привлечение дополнительных специалистов: интерпретаторов, геологов и петрофизиков
Оперативность анализа	Необходимость специализированного интерпретационного ПО
Использование при оценке результатов тестовых проектов для выбора лучшего поставщика услуг	
Использование результатов анализа при проектировании СРР в конкретных условиях	
Оценка рисков получения кондиционных материалов и принятия решения о проведении СРР	
Оценка при опробовании новых алгоритмов обработки или типов полевого оборудования	

Таблица 1.
Плюсы и минусы процедуры интерпретационного сопровождения обработки

Применение интерпретационного сопровождения обработки сейсмических данных на примере площадей Восточной Сибири

Скоростные аномалии

Использование интерпретационного сопровождения позволяет получать наиболее обоснованное статическое и кинематическое решение путем привлечения при построении модели ВЧР и при коррекции остаточных статических и кинематических поправок скважинной и геолого-геофизической информации [4].

Например, в условиях моноклинального залегания целевых пластов (Непско-Ботуобинская антеклиза) при выполнении временной обработки хорошо зарекомендовала себя методика использования трендовой поверхности, построенной по скважинным данным, для расчета длиннопериодной компоненты статических поправок. При этом учитываются статические аномалии больше длины расстановки и не теряются локальные структурные неоднородности.

При выполнении глубинной миграции наиболее часто встречаемые аномалии скоростей связаны с недоучетом рельефа, зон многолетнемерзлых пород и интрузивных тел, залегающих в верхней и средней частях разреза, что приводит к формированию ложных структур в целевом интервале. Своевременное их выявление позволяет скорректировать ГСМ.

Аномалии АЧХ

Учет амплитудно-частотных аномалий при обработке является одним из наиболее важных этапов получения материала, пригодного для последующей динамической интерпретации. Интерпретаторы анализируют карты атрибутов сейсмической записи, выполняют поиск корреляционных связей амплитудно-частотных аномалий с рельефом, геологической картой, сезонностью полевых работ, а после выполнения процедур выравнивания АЧХ оценивают эффективность выполненной коррекции.

Например (***рис. 1***), на картах атрибутов после нескольких итераций поверхностно-согласованной коррекции амплитуд была выявлена корреляция повышенных частот с речной сетью, а зон резкого понижения амплитуд и потери сейсмической записи – с выходом высокоскоростных пород на поверхность (надвиги в ВЧР). После этого была дополнительно применена амплитудно-частотная балансировка по суммарным данным, которая позволила выровнять АЧХ по площади и использовать данные для инверсионных преобразований.

Различие в АЧХ данных также может быть связано с увязкой съёмок разных лет, проведен-

ных с различными типами источников. Контроль качества согласования АЧХ данных проводится по схожей схеме.

Описанный подход позволяет определить природу выявленных аномалий, отделить их от реальной геологии и учесть в процессе обработки.

Помехоподавление

На этапе помехоподавления основная задача заключается в максимально эффективном подавлении всех волн-помех с сохранением полезного сигнала. Однако геофизик-обработчик не всегда может определить, является ли данное событие полезным. Интерпретационное сопровождение позволяет выделить из волнового поля полезные отражения при помощи привязки, оценить эффективность и корректность шумоподавления на основе кубов атрибутов, что предотвращает потерю геологической информации и позволяет расширить АЧХ. В процессе работ на площадях Восточной Сибири неоднократно отмечалось существенное повышение уровня низких частот в данных после деконволюции при более аккуратной настройке параметров шумоподавления перед самой процедурой деконволюции.

Еще один пример (***рис. 2***) показывает, как при проведении постмиграционного шумоподавления ухудшается когерентность записи на части площади (красные стрелки на ***рис. 2***). Эти области пониженной когерентности связаны с недостатком высоких частот в зонах под высокоскоростными надвигами в ВЧР. Процедуры постмиграционной обработки поднимают уровень высоких частот, а там, где их изначально меньше, повышают шум. Для улучшения качества разрезов было предложено применять фильтр 2-8–40-50 Гц, либо использовать при структурной интерпретации куб без постмиграционной обработки [5].

При выполнении обработки нередко встречаются технологические недостатки, связанные с некорректной работой некоторых процедур и алгоритмов. Все это ведет к появлению разнообразных артефактов на сейсмической записи («просечки» в амплитудах, «ступеньки» в t0 из-за некорректного введения статических поправок, «размотки» миграции и т.д.). Комплексный анализ данных при интерпретационном сопровождении также помогает выявлять подобные артефакты и оперативно их устранять.

Использование интерпретационного сопровождения при проектировании полевых сейсморазведочных работ

Помимо получения кондиционных результатов обработки, значительным преимуществом интерпретационного сопровождения в условиях Восточной Сибири является возможность оценки и ранжирования качества сейсмического материала в зависимости от условий проведения работ.

В качестве примера на ***рис. 3*** приведен сейсмический профиль 2D, на котором отчетливо видны зоны отсутствия полезного сигнала. Анализ карты аномалий магнитного поля и геологической карты показал, что данные зоны связаны с выходом туфов на дневную поверхность (красный цвет на карте магнитных аномалий). Предположительно, из-за сильного поглощения сигнала в рыхлых туфогенных отложениях не удается зарегистрировать полезные отражения.

С учетом полученной зависимости контур проектируемых сейсморазведочных работ 3D с точки зрения получения качественного полевого материала может быть расположен таким образом, чтобы минимально пересекать туфовые отложения (белый прямоугольник на ***рис. 3***).

Дополнительно полученная информация может применяться при проектировании и выборе оптимальной системы наблюдений для конкретных сейсмогеологических условий, а также для оценки рисков получения кондиционных материалов и принятия решения о проведении полевых сейсморазведочных работ.

Плюсы и минусы процедуры интерпретационного сопровождения обработки приведены в ***табл. 1***.

Выводы

Интерпретационное сопровождение – это подход, а не определенная последовательность действий, поскольку этапы, параметры и виды процедур изменяются в зависимости от исходных данных, сейсмогеологической обстановки и поставленных целей всего проекта.

При выполнении интерпретационного сопровождения обработки сейсмических данных в условиях Восточной Сибири, рекомендуется обращать внимание и учитывать следующие факторы:

– качество волновой картины напрямую зависит от литологии и морфологии пород на поверхности. Для анализа результатов обработки обязательным условием является наличие геологической карты и карты рельефа, так же необходимо использовать результаты магниторазведки, которые позволяют картировать области развития интрузий и туфов в ВЧР;

– регион насыщен большим количеством скоростных неоднородностей в верхней и средней частях разреза, что может привести к формированию ложных структур на уровне целевых горизонтов. При малой изученности площади бурением расчет статических поправок должен

быть тесно увязан с геологическим представлением об истории развития региона.

Описанный подход к интерпретационному сопровождению обработки показал свою высокую эффективность в сложных сейсмогеологических условиях Сибирской платформы, что подтверждается успешным бурением поисково-разведочных скважин. Подход может быть рекомендован к внедрению в качестве стандарта при работе с сейсмическими данными.

Литература

1. Гордеев Я.И., Гайдук А.В., Митюков А.В., Филичев А.А. Результаты проведения геологоразведочных работ ПАО «НК «Роснефть» на лицензионных участках в Иркутской области за 10 лет //Нефтяное хозяйство. 2016.
2. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А., Каширина Е.Г., Коробкин В.С. Филичев А.В., Гайдук А.В. Конечно-разностное сейсмогеологическое моделирование с целью повышения эффективности обработки и качества интерпретации сейсмических данных //Геофизика. 2017. № 6. С. 10–18.
3. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А. Каширина Е.Г. Коробкин В.С. Филичев А.В. Гайдук А.В. Возможность подавления кратных волн на основе алгоритмов моделирования в условиях высокоскоростного разреза сибирской платформы //Геофизика. 2018. № 1. С. 2–14.
4. Гайдук А.В., Фомин А.Е., Твердохлебов Д.Н. и др. Выявление перспективных на нефть и газ объектов в подсолевом карбонатном комплексе Непско-Ботуобинской антеклизы по результатам переобработки и переинтерпретации архивных данных МОГТ-2D //Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2016. № 3. С. 44–48.
5. Гайдук А.В., Каширина Е.Г., Редькин Н.А. и др. Закономерности развития перспективных карбонатных объектов в венд-кембрийском осадочном чехле южной части Сибирской платформы / Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2016. № 3. С. 28–31.

UDC 550.834.05

R.S. Melnikov, Chief Specialist of the Seismic Exploration Department, PJSC NK Rosneft[1], R_melnikov@rosneft.ru
E.A. Danko, Chief Specialist of the Modeling Group and Databases of the Geological and Geophysical Service, OOO RN–Exploration[2], eadanko@rn–exp.rosneft.ru
D.N. Tverdokhlebov, PhD, Head of the Group of Geophysical Works of the Geological and Geophysical Service, OOO RN–Exploration[2], dntverdokhlebov@rn–exp.rosneft.ru
A.B. Kleshnin, Chief Specialist of the Group of Geophysical Works of the Geological and Geophysical Service, OOO RN–Exploration[2], abkleshnin@rn–exp.rosneft.ru

[2]8 Mozhaisk Val str., Business Center "Atlantic", Moscow, 121151, Russia.
[2]Russia, 121151, Moscow, Mozhaisk Val, 8, B / c "Atlantic"

Interpretative Quality Control of Seismic Processing in Seismic Conditions of Eastern Siberia Region

Abstract. Currently, the main type of exploration is seismic exploration. In recent seismic surveys has been carrying out large–scale at license areas in Eastern Siberia using advanced technologies and methods of field work. To obtain high–quality seismic material in complex and sometimes extremely complex seismic and geological conditions of the Siberian platform, it is necessary to perform effective processing of seismic data. Traditionally, to solve such problems at the stage of seismic data processing, quality control is performed. It consists in supporting the work and evaluating the effectiveness of the procedures performed in terms of seismic data processing. However, in the conditions of Eastern Siberia, with the presence of many seismogeological factors affecting the quality of the material, standard processing support is not enough. To obtain a qualitative result already at the stage of processing it is necessary to involve in the work all available geological and geophysical information, which will allow to identify and take into account the factors negatively affecting the seismic material. A new approach to the interpretation of processing support has been developed, consisting in integration of processing and interpretation at all stages of seismic data processing in Eastern Siberia. The pros and cons of this approach are shown, as well as the most striking examples of performed work in the licensed areas of Eastern Siberia.

Keywords: Eastern Siberia; seismic exploration; seismic data processing; seismic interpretation; quality control.

References

1. Gordeev Ja.I., Gajduk A.V., Mitjukov A.V., Filichev A.A. ***Rezul'taty provedenija geologorazvedochnyh rabot PAO «NK «Rosneft'» na licenzionnyh uchastkah v Irkutskoj oblasti za 10 let*** [The results of geological exploration of PJSC "NK" Rosneft "in the licensed areas in the Irkutsk region for 10 years]. ***Neftjanoe hozjajstvo*** [Oil industry], 2016.
2. Tverdohlebov D.N., Dan'ko E.A., Kashirina E.G., Korobkin V.S. Filichev A.V., Gajduk A.V. ***Konechno-raznostnoe sejsmogeologicheskoe modelirovanie s cel'ju povyshenija jeffektivnosti obrabotki i kachestva interpretacii sejsmicheskih dannyh*** [Finite-difference seismic-geological modeling in order to increase the processing efficiency and quality of interpretation of seismic data]. ***Geofizika*** [Geophysics], 2017, no. 6, pp. 10–18.
3. Tverdohlebov D.N., Dan'ko E.A. Kashirina E.G. Korobkin V.S. Filichev A.V. Gajduk A.V. ***Vozmozhnost' podavlenija kratnyh voln na osnove algoritmov modelirovanija v uslovijah vysokoskorostnogo razreza sibirskoj platform*** [The ability to suppress multiple waves based on modeling algorithms in a high-speed section of the Siberian platform]. ***Geofizika*** [Geophysics], 2018, no. 1, pp. 2–14.
4. Gajduk A.V., Fomin A.E., Tverdohlebov D.N. i dr. ***Vyjavlenie perspektivnyh na neft' i gaz ob#ektov v podsolevom karbonatnom komplekse Nepsko-Botuobinskoj anteklizy po rezul'tatam pereobrabotki i pereinterpretacii arhivnyh dannyh MOGT-2D*** [Identification of oil and gas promising objects in the subsalt carbonate complex of the Nepa-Botuobinsky anteclise based on the results of re-processing and re-interpretation of archival data MOGT-2D]. ***Nauchno-tehnicheskij vestnik OAO «NK «Rosneft'»*** [Scientific and Technical Bulletin of Rosneft Oil Company], 2016, no. 3, pp. 44–48.
5. Gajduk A.V., Kashirina E.G., Red'kin N.A. i dr. ***Zakonomernosti razvitija perspektivnyh karbonatnyh ob#ektov v vend-kembrijskom osadochnom chehle juzhnoj chasti Sibirskoj platform*** [Patterns of development of promising carbonate objects in the Vendian-Cambrian sedimentary cover of the southern part of the Siberian Platform]. ***Nauchno-tehnicheskij vestnik OAO «NK «Rosneft'»*** [Scientific and Technical Bulletin of Rosneft Oil Company], 2016, no. 3, pp. 28–31.