

Возможности, методы и примеры повышения качества переработки морских сейсморазведочных данных, как инструменты получения новой геолого-геофизической информации

■ Горбачев С.В., Никульников А.Ю., Нурмухамедов Т.В., ООО «РН-Шельф Арктика», г. Москва

В работе проанализированы современные тенденции обработки морских сейсморазведочных данных. Особое внимание сосредоточено на возможностях переобработки архивных результатов сейсморазведочных работ 2D и 3D с использованием актуальных методик и технологий. Показаны примеры переобработки для разных геологических условий и объяснено из-за чего получены улучшения. Освещено влияние качества данных на возможность переоценки результатов геологоразведочных работ и планирование дополнительных исследований.

Введение

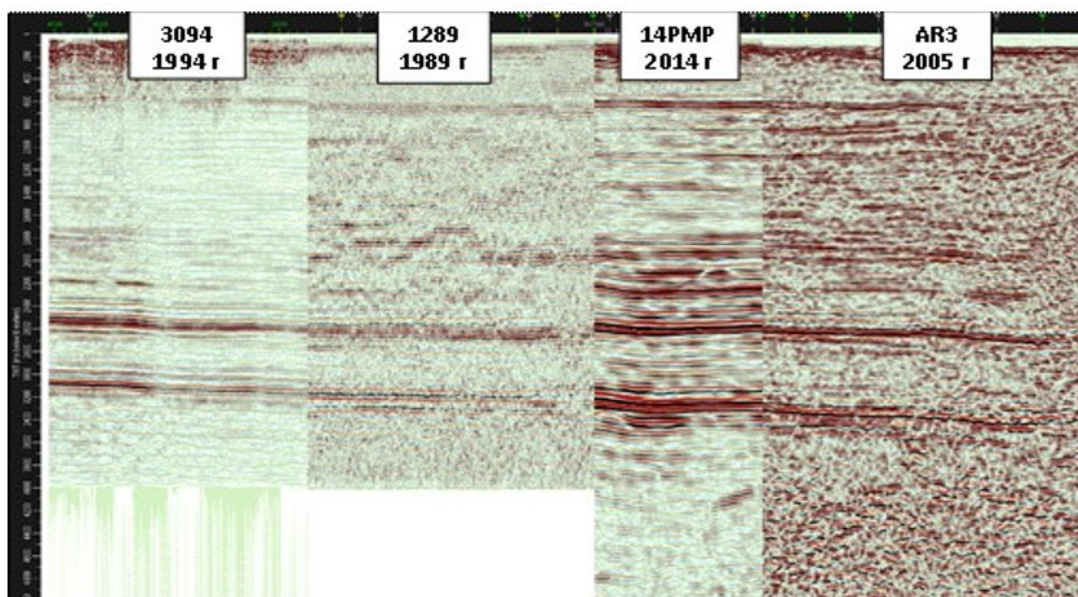
Обрабатываемые комплексы постоянно совершенствуются, многие подходы в обработке данных были предложены десятки лет назад. Сегодня, при стремительном росте вычислительных мощностей, воплощаются в жизнь и внедряются в повседневные графы обработки ресурсоемкие технологии, не имевшие возможности практической реализации ранее.

Необходимо помнить, что за периоды активного внедрения сейсморазведочных исследований, технологии и средства полевых наблюдений существенно

менялись и совершенствовались. Поэтому, одним из первостепенных вопросов, стоящих перед решением о переобработке архивных данных, является задача оценки возможности ее эффективного выполнения и получения прироста дополнительной геологической информации.

Опыт работы с морскими сейсмическими данными разных лет из разных регионов позволяет сделать некоторую классификацию сейсмических данных по степени их пригодности к обработке для решения кинематических и динамических задач. На Рис. 1 представлен комби-

▼ Рис. 1. Пример суммарного разреза по комбинированному профилю данных разных лет на шельфе Печорского моря.



нированный профиль 2D данных разных лет на одном из участков Печорского моря. Хорошо видно, что временные разрезы существенно отличаются друг от друга по качеству. Это связано как с методиками, технологиями и оборудованием, использованных при проведении полевых работ, так и с качеством выполненной обработки.

Предлагается ввести следующую классификацию в зависимости от технологий, методик, оборудования и времени выполнения полевых работ:

1. *Современные* – от начала 2000х годов до сегодняшних дней. В большинстве случаев данные приемлемого и хорошего качества, с помощью их переобработки возможно решение как кинематических, так и тонких динамических задач.

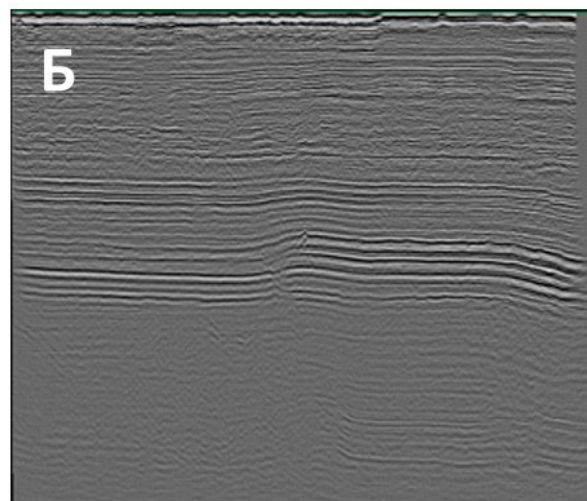
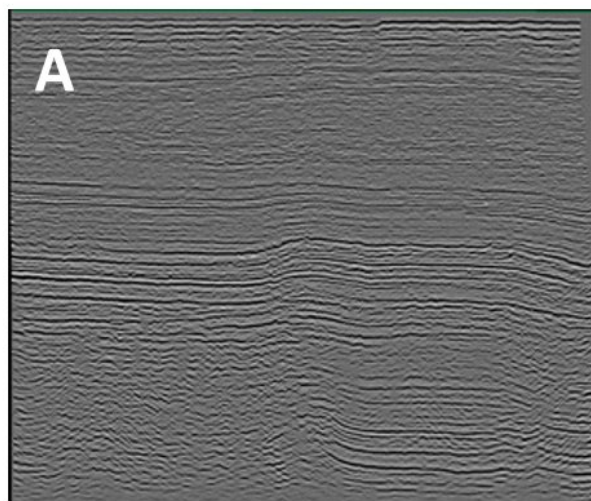
2. *Архивные* – полученные с середины 80х до начала 2000х. Это данные, полученные с разными методиками и технологиями. Среди них есть как очень хорошие, так и очень плохие, есть много удовлетворительного качества. Отметим, что переобработка большей части этих данных может помочь решить основные кинематические задачи. Что касается динамической оценки результирующих

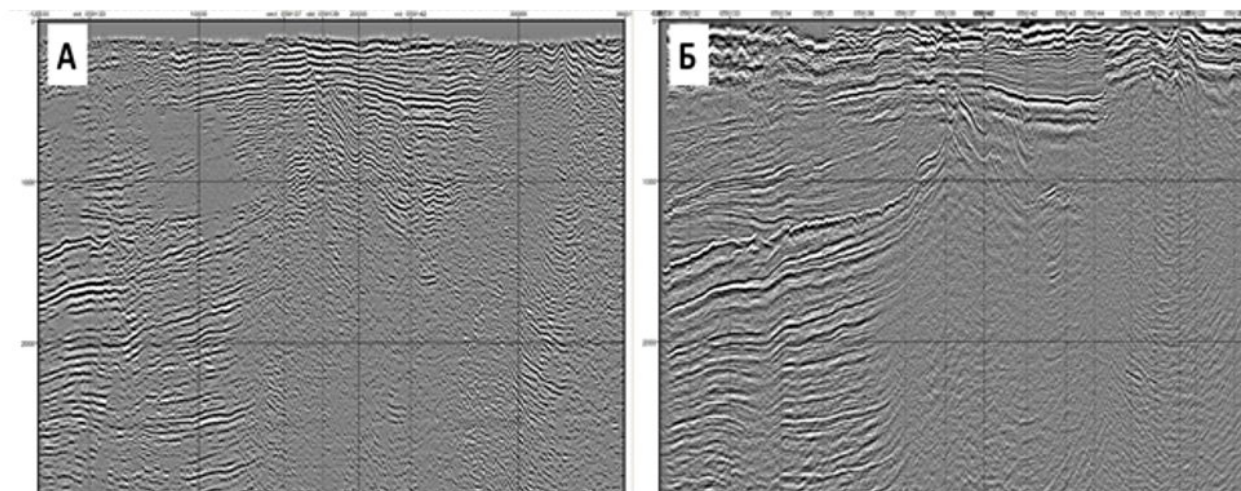
данных, то для принятия решения о переобработке требуется детальный анализ методики и качества выполнения полевых работ. Накопленный опыт показывает, что в некоторых случаях данные (в частности 1989 и 1991 гг), были пригодны для динамического анализа.

3. *Устаревшие* – данные полученные до середины 80х. Чаще всего работы выполнялись с очень редким шагом между пунктами возбуждения и приема, короткой приемной косой и нестабильными характеристиками оборудования. Во многих случаях переобработка таких данных не даст существенного прироста информации даже для структурной интерпретации, а динамический анализ выполнить будет и вовсе невозможно. Но при этом есть примеры успешной переобработки данных конца 70х, поэтому все данные необходимо детально анализировать.

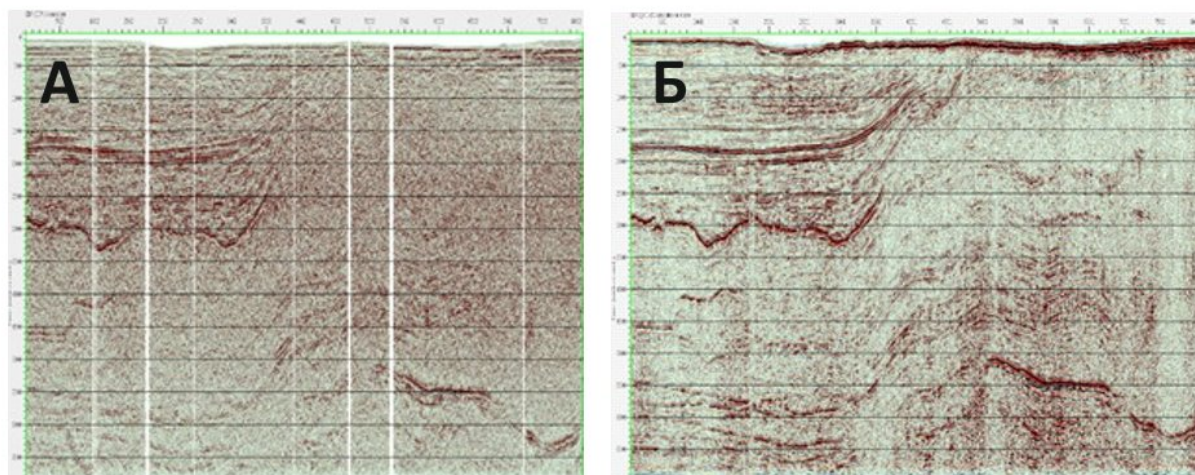
Кроме оценки качества полевых данных при принятии решения о переобработке необходимо учитывать, когда и как выполнялась их последняя обработка/переобработка. Как уже было отмечено выше, за последние 10-15 лет технологии обработки морских сейсморазведочных данных значительно шагнули впе-

▼ Рис. 2. Фрагменты временных разрезов данных 1995 года шельфа Печорского моря архивной обработки (А) и современной переобработки (Б).





▲ Рис. 3. Фрагменты временных разрезов данных 1991 года шельфа Печорского моря архивной обработки (А) и современной переобработки (Б).



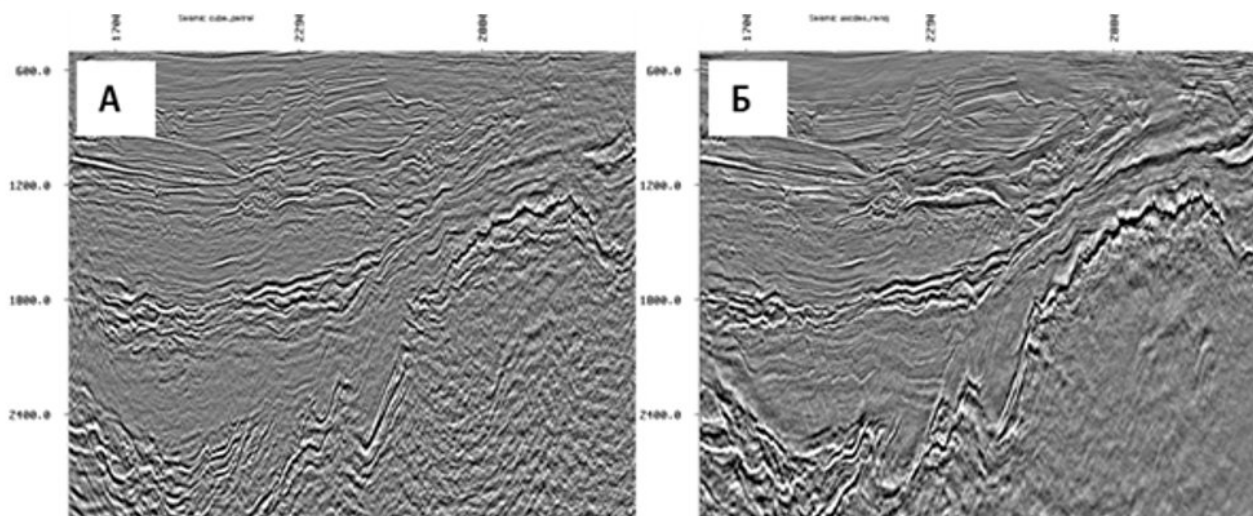
▲ Рис. 4. Фрагменты временных разрезов данных 1985 года шельфа Баренцева моря архивной обработки (А) и современной переобработки (Б).

ред. Даже последние 5 лет характеризуются внедрением в базовый граф процедур, которые позволяют более аккуратно работать с характеристиками сигнала и получать значительные преимущества как по форме сигнала, так и целиком в изображении среды (Рис. 2, 3 и 4).

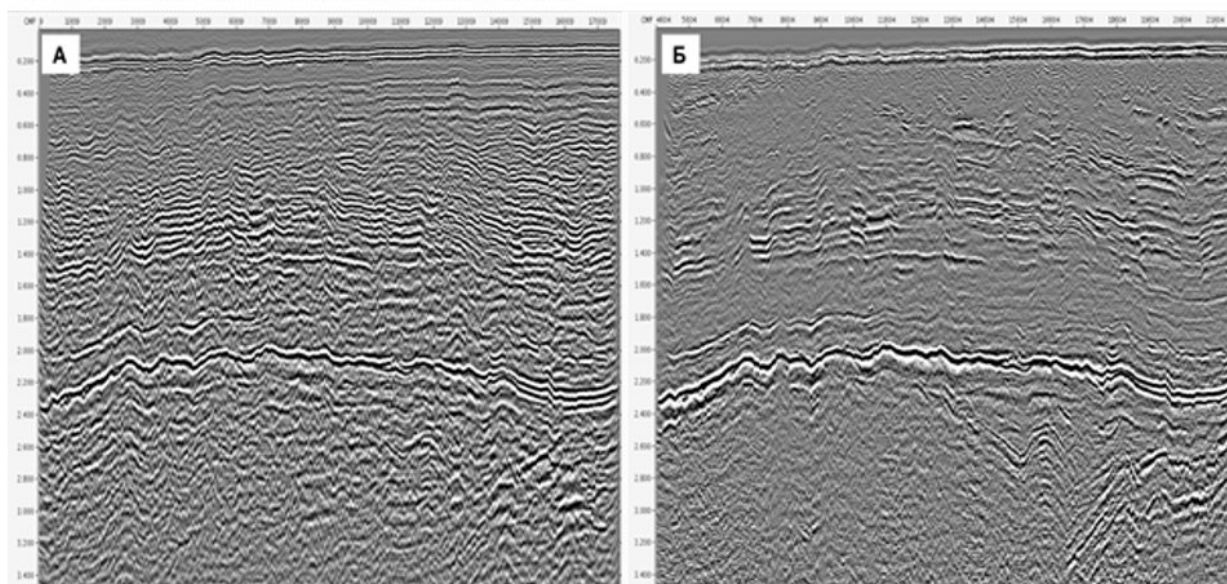
Среди всех процедур графа обработки, по нашему мнению, наибольший эффект в получении «новых» изображений по «старым» сейсмическим данным достигается за счет внедрения современных процедур сигнальной обработки, таких как: адаптивное подавление вторичной пульсации и волн-спутников [1, 7], итерационное подавление линейных и крат-

ных волн-помех [2, 3], пространственная регуляризация данных и различные технологии получения сейсмического изображения в глубинной области, включая алгоритмы подбора глубинно-скоростных моделей (ГСМ).

Важным элементом обработки и особенно переобработки является интерпретационное сопровождение работ и количественный анализ промежуточных результатов [5]. Это позволяет на всех стадиях обработки детально анализировать как качество данных, так и влияние процедур на решение поставленных кинематических и динамических задач. По результатам выполненной



▲ Рис. 5. Фрагмент временного разреза данных 2009 года шельфа о. Сахалин обработки того же года (А) и переобработки 2019 года (Б), выполненной с использованием технологии подавления волн-спутников.



▲ Рис. 6. Пример обработки данных шельфа Баренцева моря 2005 г. (А) и переобработки с использованием современных алгоритмов подавления кратных волн (Б).

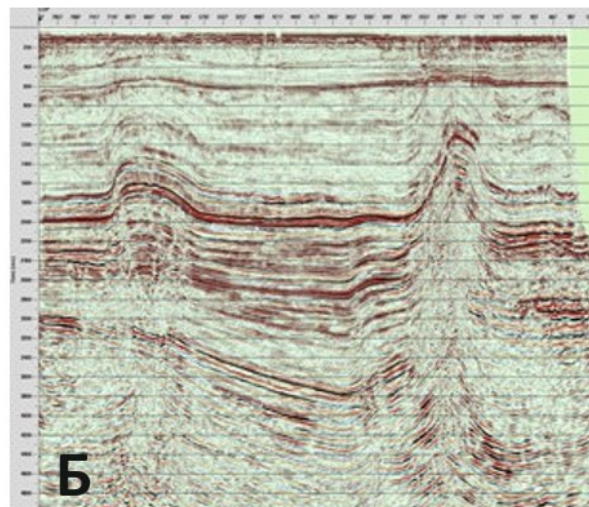
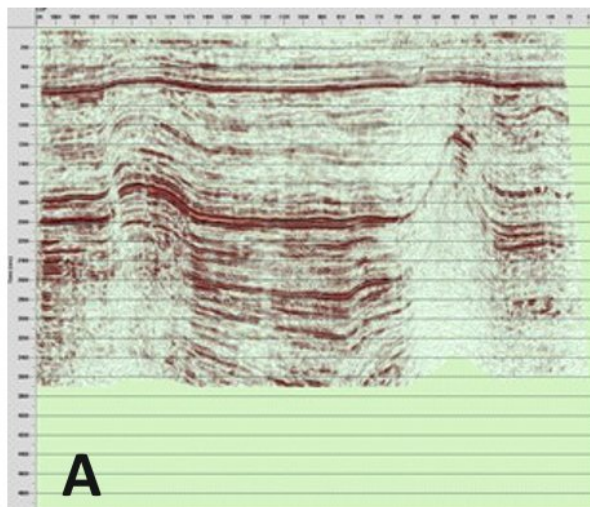
работы можно будет сделать выводы о применимости переобработки со схожими методиками и технологиями для аналогичных геолого-геофизических условий и разработать базовые графы обработки.

Рассмотрим более подробно некоторые эффекты от применения вышеописанных процедур и сравним результаты архивной и современной обработки.

Одна из основных задач обработки – это корректное выделение сейсмического сигнала от реальных геологических

объектов из общего поля волн различного типа, поэтому на всех этапах работ должен осуществляться тщательный контроль за выделением и ослаблением энергии волн-помех.

Как известно, характерной особенностью морских сейсморазведочных данных является наличие волн-спутников и вторичных пульсаций источников. На данный момент, по нашему мнению, наиболее эффективным способом их подавления является моделирование указанных помех с использованием записи гидрофонов ближней зоны и



▲ Рис. 7. Фрагменты разрезов по данным 2004 г. шельфа Печорского моря: А – результат обработки прошлых лет с использованием PSDM; Б – результат переобработки с использованием PSDM.

последующим адаптивным вычитанием [1] (Рис. 5). К сожалению, данная методика применима только к современным данным и, конечно же, только в случае наличия необходимой информации.

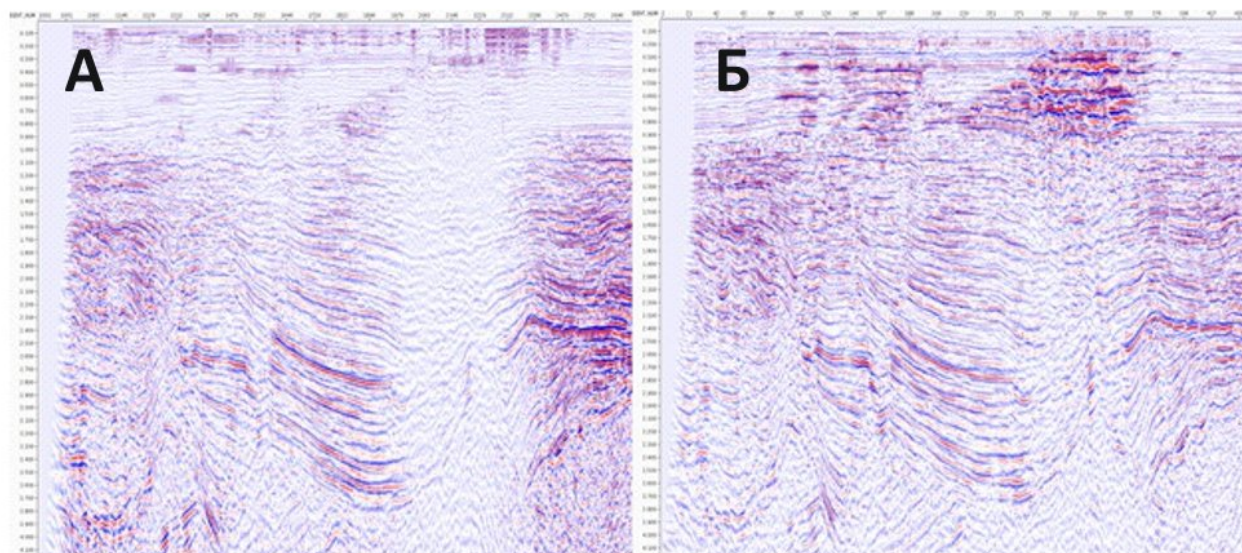
Другой существенной проблемой при морских исследованиях являются многократно отраженные волны от границ водного слоя и придонных слоев. До середины 2000-х годов данная задача в основном решалась с помощью параболического преобразования Радона и таур-деконволюции. Следующим шагом развития технологий были алгоритмы SRME и WEMA. В начале 2010-х стали появляться и внедряться методы подавления кратных волн (MWD, SWD, DWD, SPMA), ориентированные на небольшие глубины моря (до 300 м). Основным их отличием является возможность корректного моделирования кинематики и динамики кратных волн при отсутствии ближних удалений, что характерно для данных полученных с буксируемой косой и весьма критично при малых глубинах моря [2,3]. На рисунке 6 представлены результаты переобработки, где четко видна разница в степени подавления кратных волн относительно архивной обработки.

В настоящее время получила широкое применение глубинная миграция до

суммирования (PSDM), но до 2000-х она применялась редко в связи с высокими требованиями к вычислительным ресурсам. В последнее время даже наблюдается некоторая тенденция исключения временной миграции до суммирования из графа полной обработки как ненужной и менее эффективной по сравнению с глубинной [6]. Первая зачастую выполняется лишь в графе экспресс-обработки для повышения и улучшения качества экспресс-интерпретации, придя на замену миграции по суммарным данным.

Кроме самих миграционных преобразований значительные результаты достигнуты в методиках получения детальных скоростных характеристик изотропных и анизотропных сред, в том числе с учетом поглощения (Q-фактора). На рисунке 7 представлен разрез первичной обработки и новой переобработки. Видно, что кроме существенных отличий в изображении геологических объектов, в частности более низкой разрешенности, результаты предыдущей обработки были получены с необоснованными ограничениями по апертуре и глубине миграции.

Еще одной важной задачей для глубинной миграции является учет аномалий верхней части разреза, которые



▲ Рис. 8. Фрагменты разрезов по данным 2010 г. шельфа Восточно-Сибирского моря: А – результат предыдущей обработки с использованием PSTM; Б – результат переобработки с использованием PSDM.

влияют на нижележащие горизонты существенно искажая геометрию и амплитуды отражений. На рисунке 8 представлены фрагменты разрезов после первичной обработки с применением временной миграции до суммирования и после переобработки с глубинной миграцией и построением детальной глубинно-скоростной модели [4]. Наглядно видно, что учет скоростных аномалий, связанных со скоплением газа, и сам алгоритм PSDM позволяют лучше сфокусировать отражения в нижележащих интервалах, что алгоритм временной миграции не способен сделать. Поэтому выбор типа миграции (временная или глубинная) в таких условиях вполне очевиден.

На представленных примерах показано применение современных технологий временной и глубинной обработки, позволяющих получить существенно улучшенные данные для геологического анализа отдельных объектов и целых районов работ. Это позволяет выделить поисковые зоны как с простыми геологическими объектами, так и с более сложными ловушками тектонического и литологического типа. Переоценка уже существующих геологических объектов с использованием данных переобработки

позволяет по-новому взглянуть на перспективы уже давно изучаемых объектов и выбрать оптимальную стратегию изучения новых территорий.

Заключение и выводы

Мир технологий обработки постоянно меняется, что дает возможность переоценивать уже давно выполненные работы в различных регионах с целью доизучения геологического строения и выявления новых потенциальных объектов.

Как показано в работе, даже достаточно старые данные, полученные более 30 лет назад, могут быть качественно переобработаны и по ним можно получить новое представление о геологических объектах. При этом данные, обработанные 3-5 лет назад, так же эффективно могут быть переобработаны с применением современных технологий.

Мы надеемся, что методики и технологии обработки сейсморазведочных данных и далее будут активно развиваться и совершенствоваться. Это позволит с каждым годом получать все более достоверные результаты и эффективнее использовать их не только в целях разведки, но и для решения некоторых задач

разработки, в частности с помощью 4D сейсморазведки.

По нашему мнению, залогом любой успешной обработки и переобработки данных является качественное и профессиональное интерпретационное сопровождение работ, тестирование и внедрение современных алгоритмов и технологий.

Литература

1. Валькова Е.В., Корнев А.С., Нагаев Р.Р., Никульников А.Ю., Горбачев С.В., Нурмухамедов Т.В., Векшин Р.В. Технология подавления волн-спутников с использованием данных гидрофонов ближней зоны при обработке морских сейсмических данных // 22-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2020», сентябрь 2020.

2. Денисов М.С., Кобзов А.А., Музыченко Е.Л., Горбачев С.В., Никульников А.Ю., Нурмухамедов Т.В. // Разработка методики ослабления кратных волн и пример ее применения на данных, полученных в различных зонах акватории Баренцева и Карского морей // Технологии сейсморазведки, №1, 2017.

3. Корнев А.С., Савицкий Л.М., Кибальчик В.Я., Горбачев С.В., Никульников А.Ю., Нурмухамедов Т.В. Особенности обработки сейсмических данных на шельфе Баренцева моря в условиях «жесткого» дна // Геофизика, 3, 2019.

4. Литвинов С.И., Бекешко П.С., Соколов Е.А., Хабибуллин И.И., Новиков С.С., Горбачев С.В., Чибисов В.С. Применение современных технологий обработки для улучшения сейсмического изображения и получения новой геологической информации на примере сейсморазведочных данных Восточно-Сибирского моря // Научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель-2019», Геленджик, 9-13 сентября 2019.

5. Никульников А.Ю., Горбачев С.В., Мясоедов Д.Н., Нурмухамедов Т.В. Примене-

ние количественного контроля качества в процессе обработки данных сейсморазведки // Геофизика, 1, 2019.

6. Попова А.Б., Горбачев С.В., Самаркин М.А., Курин Е.А. Особенности обработки 3D данных при решении сложных задач, приуроченных к газовым аномалиям шельфа Сахалина // Нефтяное хозяйство, 4, 2019.

7. Филимонов А.В., Горбачев С.В., Ланцев В.В., Хохряков В.Н., Степанов Н.А. Особенности ослабления вторичных пульсаций источника при обработке морских сейсмических данных разных лет // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1-2, 2018.

Благодарности

Авторы выражают большую благодарность всем коллегам из различных компаний, которые принимали активное участие во всех работах и были получены представленные результаты.

Подробнее об авторах



Горбачев
Сергей Викторович

к.т.н., начальник
Управления реализации
ГРП ООО
«РН-Шельф-Арктика».



Никульников
Алексей Юрьевич

к.т.н., старший геофизик
Управления реализации
ГРП ООО
«РН-Шельф-Арктика».



Нурмухамедов
Тимур Ваисович

начальник Отдела
геофизики Управления
реализации ГРП ООО
«РН-Шельф-Арктика».