

Опыт применения программного обеспечения «АЛЬТАИР-М» для обработки морских сейсморазведочных данных 3D, зарегистрированных с буксируемыми косами

- Авраменко А.Д., Паутов А.С., Штоль К.В., ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Тюмень
- Казанин А.Г., Литвачук А.В., Нагаев Р.Р., Сафонов Д.А., АО «МАГЭ», г. Москва

Аннотация. Российское программное обеспечение (ПО) для обработки данных сейсморазведки «АЛЬТАИР-М» проходит стадию опытно-промышленной эксплуатации – выполняется ряд тестовых проектов и испытаний силами ведущих сервисных и нефтегазовых компаний страны, готовятся к старту первые коммерческие работы. В силу специфики работ АО «МАГЭ», в компании особое внимание уделяется тестированию процедур и алгоритмов, предназначенных для обработки морских сейсморазведочных данных различных типов. Последние годы наибольшую активность в части разведки и освоения морских месторождений в РФ поддерживает ПАО «Газпром». Учитывая указанное, все тестовые работы по шельфовому направлению АО «МАГЭ» проводит при поддержке ПАО «Газпром» и его дочерних обществ, предоставляющих сейсмические данные, экспертную поддержку и оценку получаемых результатов.

В статье представлены результаты пилотного проекта по обработке морских сейсмических данных 3D, зарегистрированных с помощью буксируемых кос. Сейсмические данные получены на одном из шельфовых участков ПАО «Газпром» в Карском море. Обработка выполнена совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Основная задача работ – подтвердить функциональность ПО «АЛЬТАИР-М» для обработки указанного типа данных. Обработка выполнена в варианте фаст-трек.

Ключевые слова: АЛЬТАИР-М, программное обеспечение для обработки, морская сейсморазведка 3D, буксируемая коса.

АЛЬТАИР-М. Общая информация

АЛЬТАИР-М – российское программное обеспечение для обработки сейсмических данных. ПО поддерживает работу с любыми типами морских и сухопутных сейсморазведочных данных (2D/3D/4C/4D), имеет полный набор необходимых базовых функций, а также широкий спектр продвинутого функционала для обработки как во временной, так и глубинной областях. За основу АЛЬТАИР-М взята отечественная разработка – программное обеспечение для контроля качества полевых сейсморазведочных работ GeoSeisQC. Концепция разработки изначально базировалась на использовании только собственных или свободных технологий [1]. На текущий момент уже состоялось несколько релизов программы – производится постоян-

ное обновление на основе замечаний и предложений первых пользователей, ведется разработка и планомерное внедрение нового функционала как в части расчетных модулей, так и интерактивных приложений. Подготовлено и систематически обновляется руководство пользователя и вся необходимая техническая документация. АЛЬТАИР-М внесен в реестр отечественного программного обеспечения Министерства Цифрового развития РФ и готов к промышленному внедрению, в том числе для организаций и предприятий, где вопрос страны-изготовителя ПО является чувствительным [2].

Исходные данные

Для пилотного проекта были выбраны 3D-данные, зарегистрированные с буксируемыми косами. Сейсмическая

съемка выполнена относительно недавно и на современном технологическом уровне. Методика и параметры сбора данных – стандартные для такого вида работ (Таблица 1.).

Исходные сейсмические данные были получены в формате SEG-D и прошли стандартную процедуру загрузки и конвертации во внутренний формат системы АЛЬТАИР-М – сформирован проект обработки, присвоена геометрия наблюдений. Корректность присвоения геометрии проверена в ручном и автоматическом режиме (Рис. 1). После описания геометрии для каждой трассы сейсмического набора был подобран грид обработки, данные пробинированы (Рис. 2). Выполнен стандартный контроль

Параметр	Значение
Тип источник	Пневматический
Число групп ПИ	2 (flip-flop)
Расстояние между группами ПИ	50 м
Интервал ПВ	50 м (25 м flip-flop)
Длина активной части косы	6000 м
Число каналов на косе	480
Расстояние между группами гидрофонов	12.5 м
Число кос	10

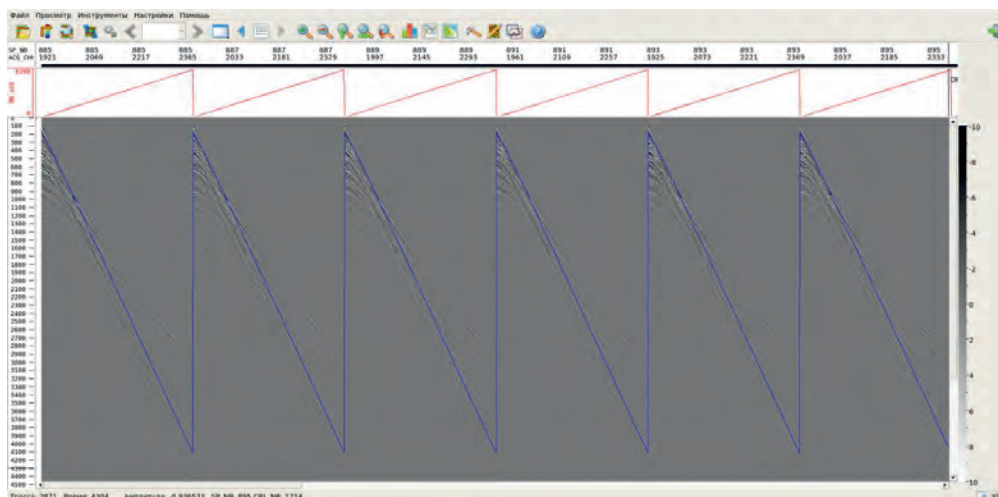
▲ Табл. 1. Параметры сейсмической съемки.

качества на основе атрибутного анализа данных.

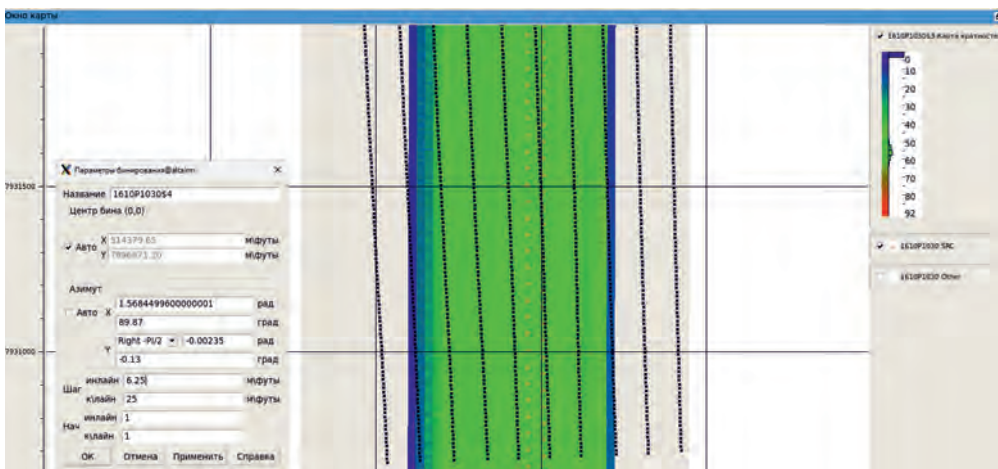
Результаты обработки

В рамках пилотного проекта был сформирован граф обработки (Рис. 3), который соответствует требованиям к разделу стандартной обработки типовых

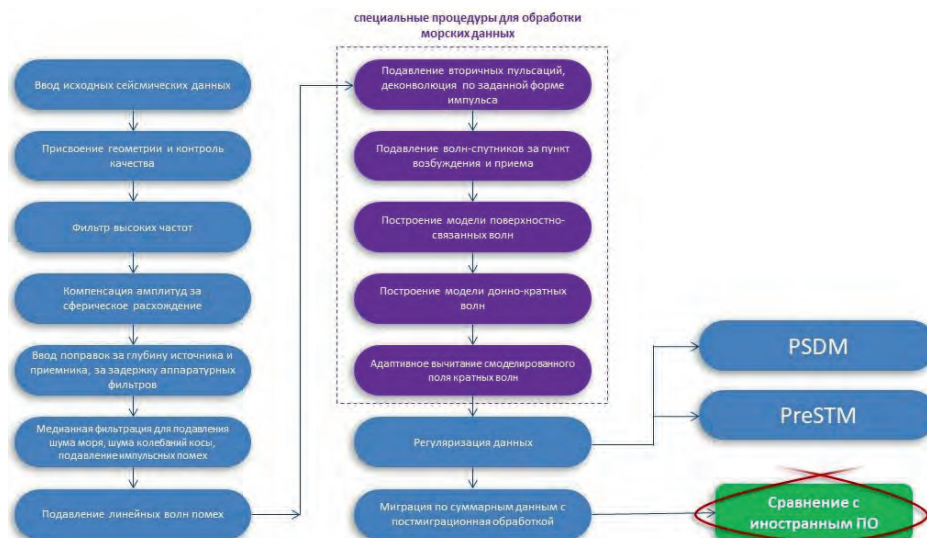
▼ Рис. 1. Исходные сейсмограммы ОПВ с нанесенными графиками теоретических первых вступлений.



▼ Рис. 2. Биннирование сейсмических данных.



► Рис. 3.
Граф обработки
пилотного
проекта.

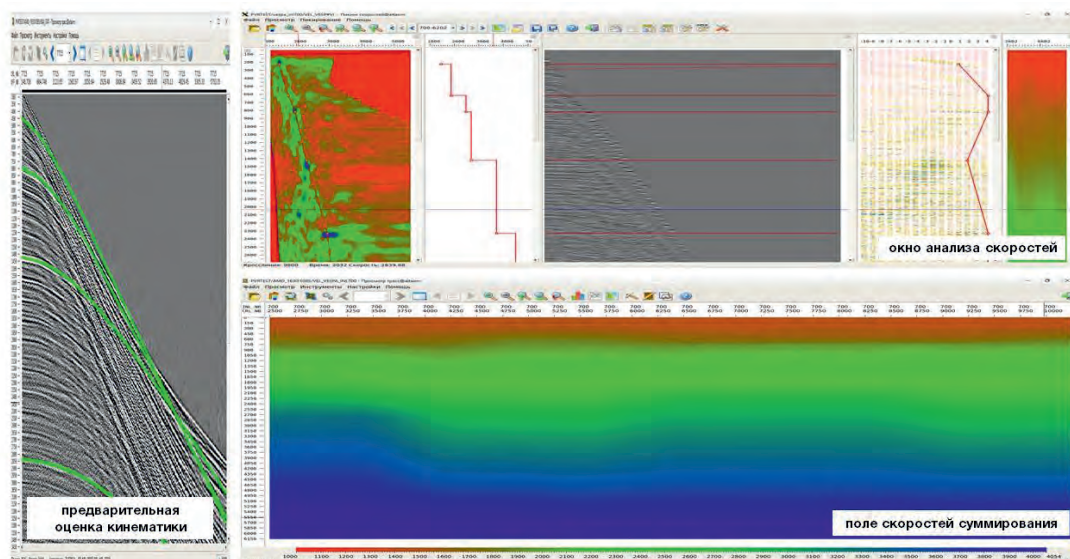


технических заданий ПАО «Газпром», предъявляемым к обработке морских сейсморазведочных данных 3D, зарегистрированных с буксируемой косой. Указанный граф ориентирован на получение сейсмического изображения высокого качества и отвечает современным требованиям отрасли. Параметры процедур определялись по результатам тестирования на сейсмических наборах, полученных для ближней и дальней косы тестового сиквенса, что является необходимым и, для большинства процедур, достаточным условием при обработке 3D-съемок с буксируемой косой.

На начальном этапе обработки выполнен ряд стандартных процедур подготов-

ки данных. Для подавления низкочастотного фона, вызванного волнением моря, применена частотная фильтрация (ФВЧ). Параметры ФВЧ выбраны путем перебора граничной частоты фильтра и изучения получаемой для каждого варианта фильтрации сейсмической разницы. Выполнена предварительная компенсация сферического расхождения амплитуд (однофакторная модель) перебором степени функции T^n . Выбор степени функции осуществлен с помощью визуального анализа сейсмической записи и кривой затухания амплитуд. Учет влияния погружения источника и приемника реализован через ввод статических поправок, рассчитанных на основе

► Рис. 4.
Интер-
активные
окна для
подбора
скоростно-
го закона.

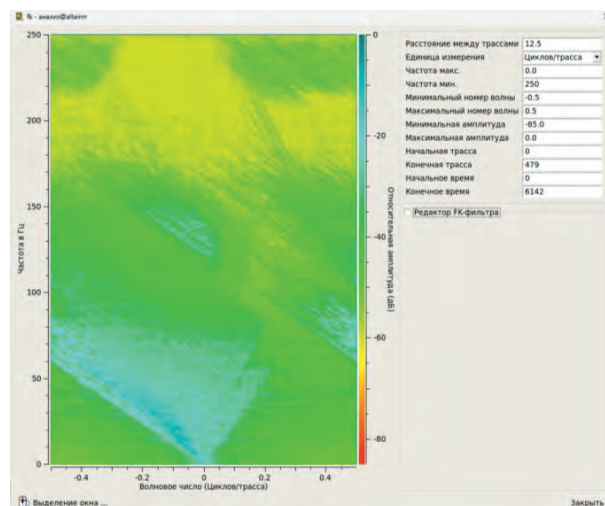


данных о фактических заглублениях каждого ПВ и ПП, полученных из навигационных файлов R190.

После указанных процедур в интерактивном режиме выполнен подбор исходного скоростного закона (Рис. 4) и предварительное суммирование сейсмических данных по ОСТ.

Стандартной, но при этом важнейшей частью любой обработки является шумоподавление - для подавления случайных помех применен каскад частотно-зависимых медианных фильтров (три итерации) в различных сортировках. Каждая итерация была направлена на отдельный вид шумов с соответствующими настройками граничных частот, базы и порогов фильтра. Подавление линейных помех выполнено в две итерации с помощью фильтрации в FK и линейной Радон-области (домен ОПВ). Для работы в FK-области предусмотрен стандартный подход с подготовкой спектра и интерактивным подбором параметров фильтрации (Рис. 5).

Эффективное подавление основных когерентных и случайных помех позволило перейти к выполнению специальных процедур обработки - как известно, для морских данных задача упрощения волновой картины является наиболее сложным этапом временной обработки. Сейсмическая запись, полученная в условиях акватории, всегда осложнена вторичными пульсациями газового пузыря пневмоисточника, волнами-спутниками, фоном кратных волн различной природы. Качественное решение указанных задач является залогом успеха обработки, при этом обеспечить конкурентоспособный (в сравнении с зарубежными коллегами) результат без специализированных и современных алгоритмов в данном случае практически невозможно.

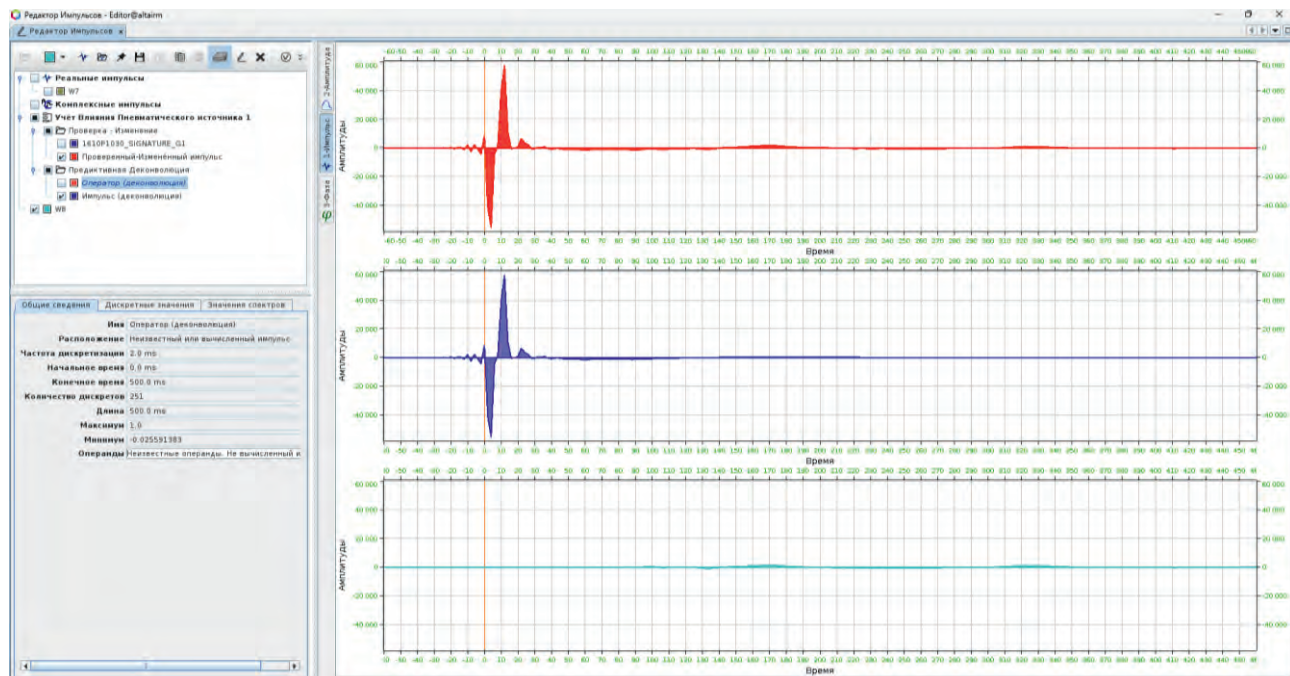


▲ Рис. 5. Пример окна расчета FK-спектра.

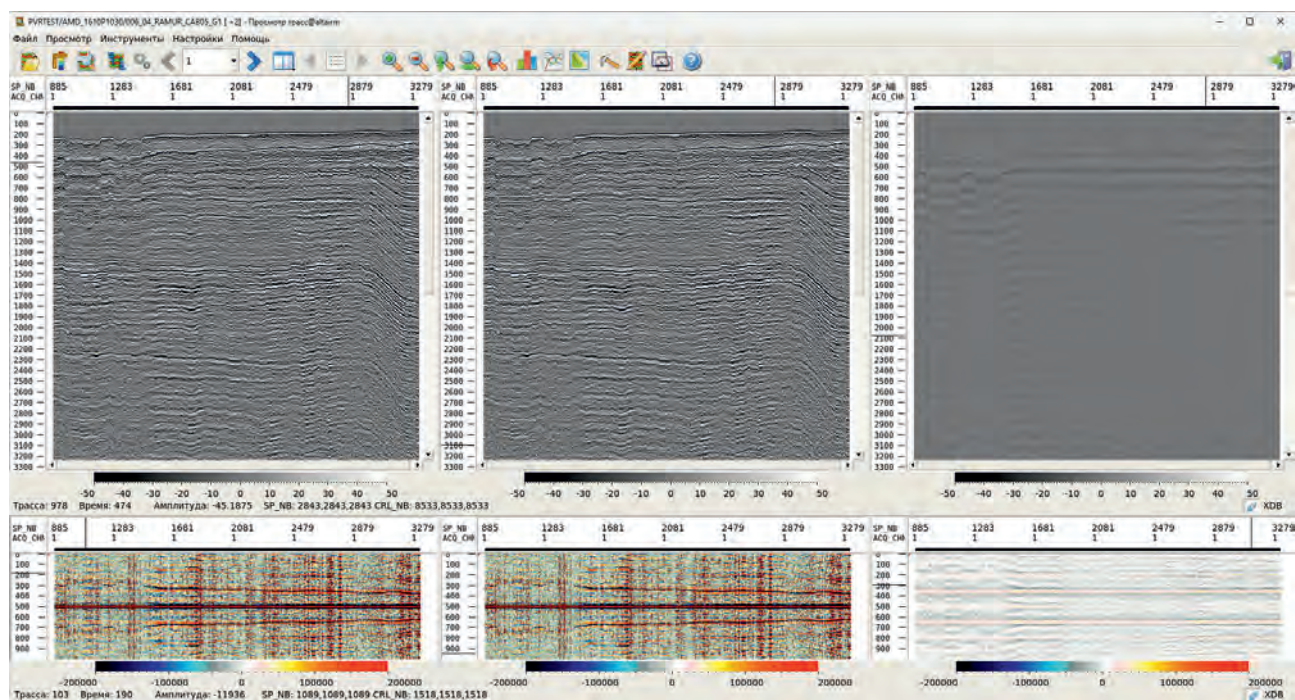
Для подавления вторичных пульсаций газового пузыря выполнена подготовка соответствующего оператора на основе записи сигнатуры, полученной из служебного канала сейсмического набора. Для подготовки оператора использовалось специальное внутреннее приложение АЛТАИР-М, предназначенное для работы с сигналами *TerraWave* (Рис. 6). Для минимизации искажений, вызванных неидентичностью источника, оператор строился отдельно для левого и правого борта. Подготовленные операторы применены к сейсмическим данным, эффект подавления вторичных пульсаций продемонстрирован на разрезе ближнего удаления и АКФ (Рис. 7).

Приложение *TerraWave* является базовым инструментом АЛТАИР-М для работы с сигналами и было использовано в том числе и для подготовки оператора эквивалентного нуль-фазового фильтра. В данном случае в качестве входных данных использовалась сигнатура источника после предварительного подавления волны-спутника. Применение полученного оператора позволило привести данные к виду, близкому к нуль-фазовому.

Как известно, в следствие заглубления источника и приемника и наличия жес-



▲ Рис. 6. Исходная сигнатура источника (красный), после подавления вторичных пульсаций (синий), их разница (голубой).



▲ Рис. 7. Результат подавления вторичных пульсаций на сейсмических данных (разрез ближнего удаления) и АКФ.

ткой контрастной границы вода/воздух, коэффициент отражения от которой близок значению -1.0, в волновой картине для каждого сейсмического события возникают два побочных дополнительных отражения, которые, интерферируя с полезным сигналом, создают дополни-

тельные фазы в t -х области – волны-спутники за ПП и ПВ. В амплитудно-частотном спектре спутники проявляются в виде характерных провалов на частотах, значения которых контролируются глубиной буксировки приемного и излучающего оборудования. Процедура

подавления спутников (дегостинг) давно является стандартной для обработки морских данных, от корректности ее выполнения в значительной степени зависит вертикальная разрешающая способность итогового сейсмического изображения и его динамические характеристики. Подавляющее большинство алгоритмов подавления волн-спутников реализованы в двумерных областях FK или $Tau-p$ - в АЛБТАИР-М предусмотрены оба эти подхода.

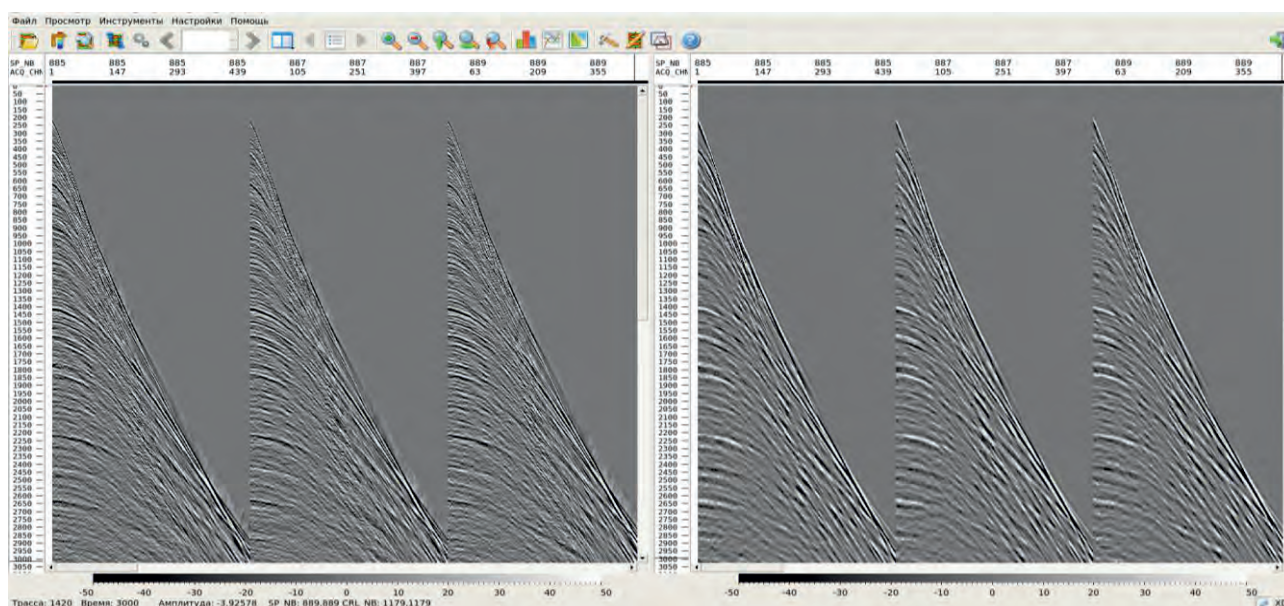
В рамках описываемых работ подавление волн-спутников выполнялось в области $Tau-p$ с использованием современной реализации алгоритма – *BroadSeis*-дегостинг (одновременно за ПП и ПВ). *BroadSeis*-алгоритмы были изначально разработаны для работы с данными, зарегистрированными с наклонной косой (*BroadBand seismic*), однако хорошо себя зарекомендовали и для стандартного случая буксировки кос на единой глубине. Указанная реализация позволяет стабилизировать спектр выходного сигнала в области низких частот, тем самым обеспечить минимальный уровень артефактов записи,

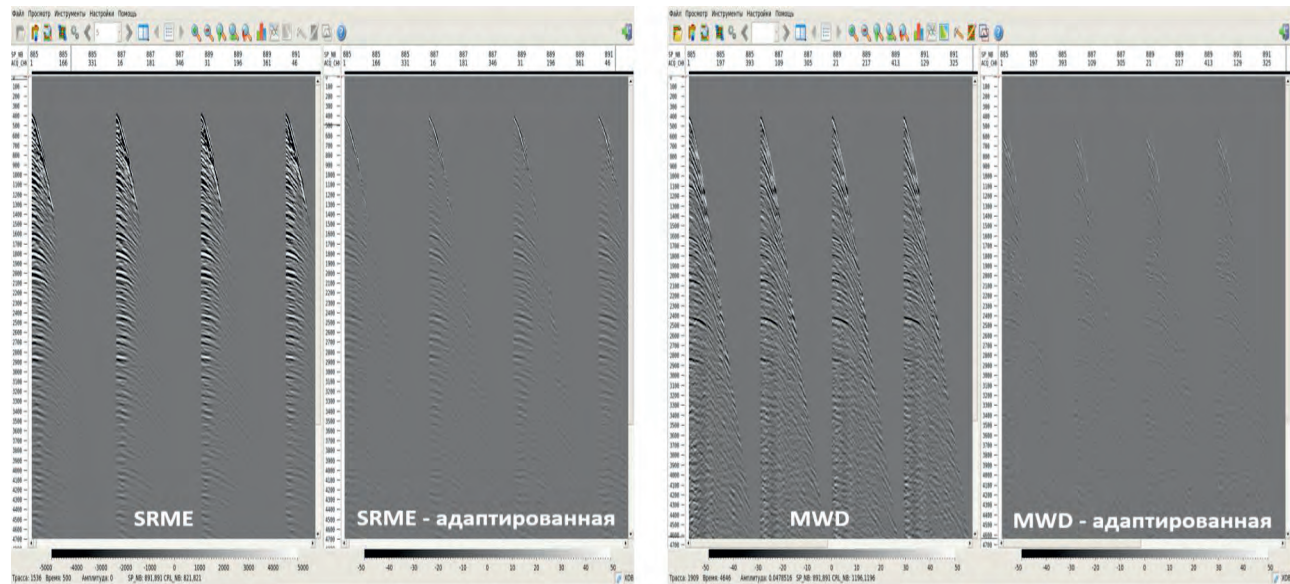
при этом надежно подавляет волны-спутники и компенсирует с ними связанные провалы спектра во всем диапазоне частот. Следует отдельно отметить, что указанный алгоритм реализован в варианте 3D, что позволяет избавиться от сложностей при применении двумерных алгоритмов дегостинга к сейсмическим данным с дальних кос, вызванных не учётом перпендикулярного оффсета ПВ-ПП (Рис. 8).

Функциональное обеспечение АЛБТАИР-М предоставляет возможность моделировать любые типы кратных волн – от свободной поверхности, донно-кратные, внутрислойные. В рамках описываемой тестовой работы был выбран стандартный подход с моделированием кратных волн от свободной поверхности (SRME) и донно-кратных (MWD), с последовательной глобальной и локальной адаптацией моделей в $t-x$ области (Рис. 9, 10).

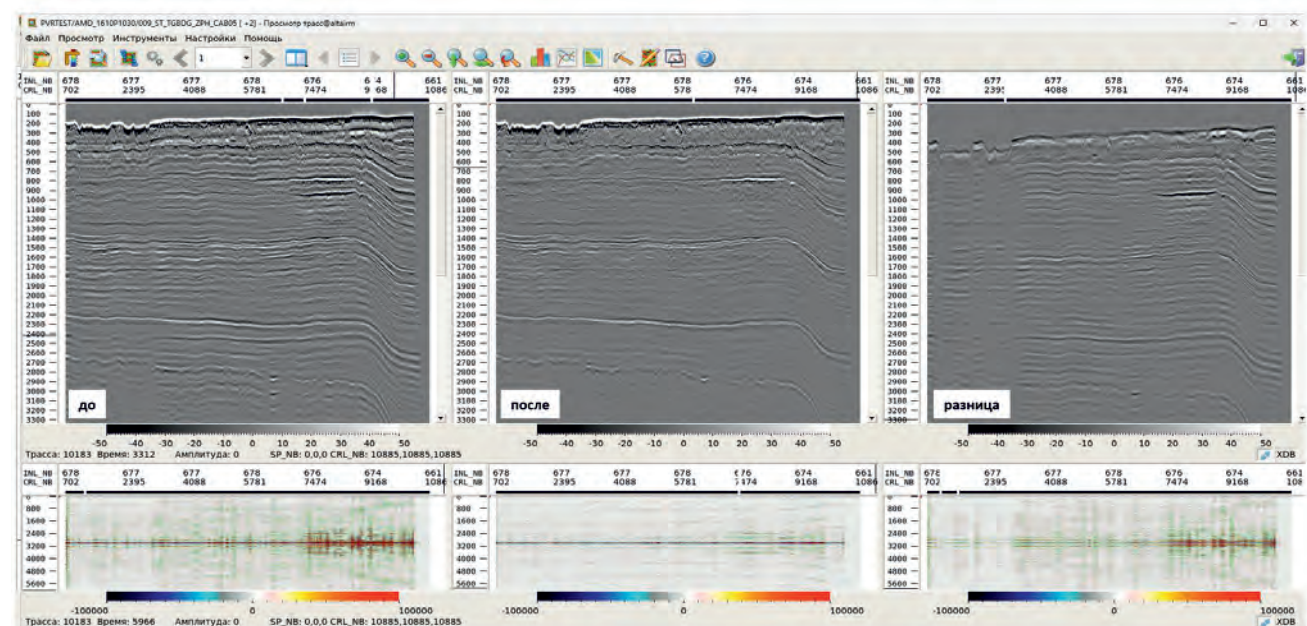
Полученные в результате подавления кратных волн данные прошли ряд процедур дополнительного шумоподавления и были использованы для уточнения кинематического закона.

▼ Рис. 8. Исходные данные (слева) и результат подавления волн-спутников за ПВ и ПП (справа).





▲ Рис. 9. Примеры моделей кратных волн и их адаптации.



▲ Рис. 10. Результат подавления кратных волн на сейсмических данных (суммарный разрез в направлении IL) и АКФ.

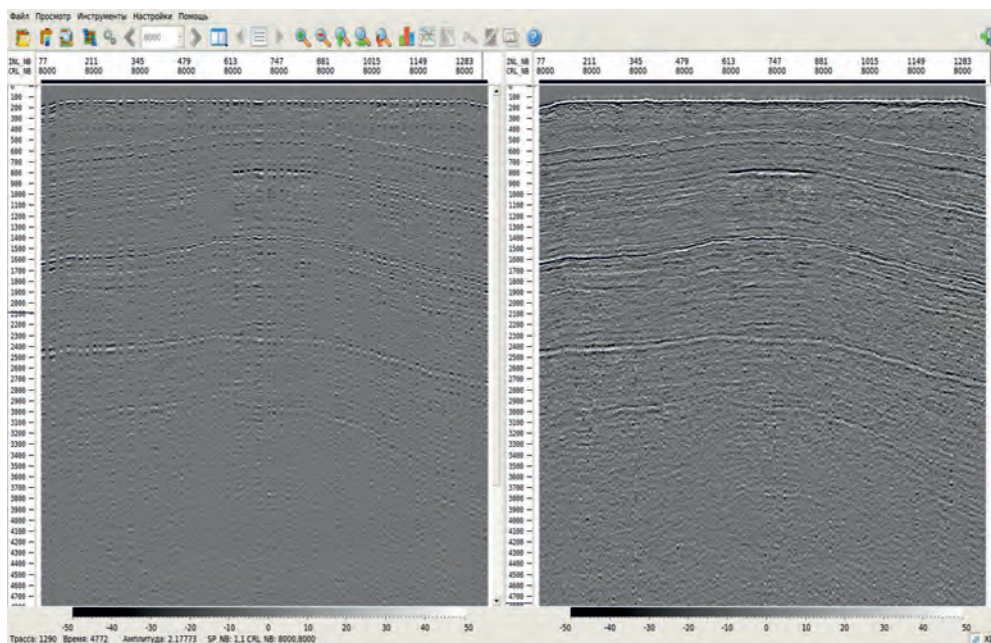
На окончательном этапе сигнальной обработки выполнена 3D-регуляризация для восстановления пропусков данных, пересчета трасс в центр бина и регуляризации удалений. На вход алгоритма подавались трассы в подборке оффсет-класс с предварительным вводом частичной кинематики. Для морских сейсмических съемок результат наиболее показателен в направлении XL (Рис. 11).

Сейсмические данные после регуляризации и дополнительного шумопода-

вления отмигрированы с использованием алгоритма Кирхгофа.

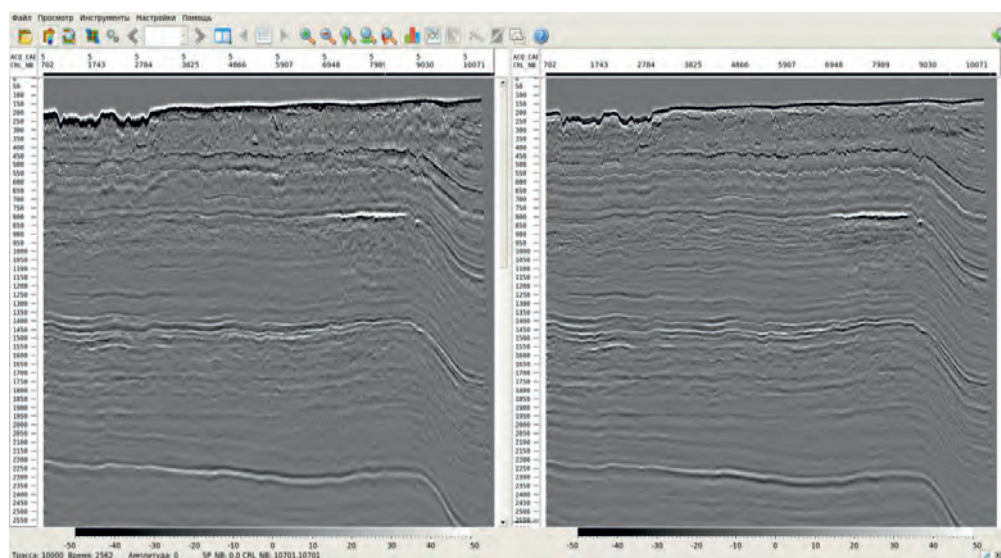
Результаты

Тестовые работы позволили подтвердить функциональную готовность АЛТАИР-М к реализации полного цикла обработки морских сейсмических данных 3D – от загрузки данных и контроля качества до миграционных преобразований. Важно отметить, что в рамках рассматриваемой экспресс-обработки



◀ Рис. 11. Пример регуляризации данных (ближний оффсет-класс, направление XL). Исходные данные – слева, после регуляризации – справа.

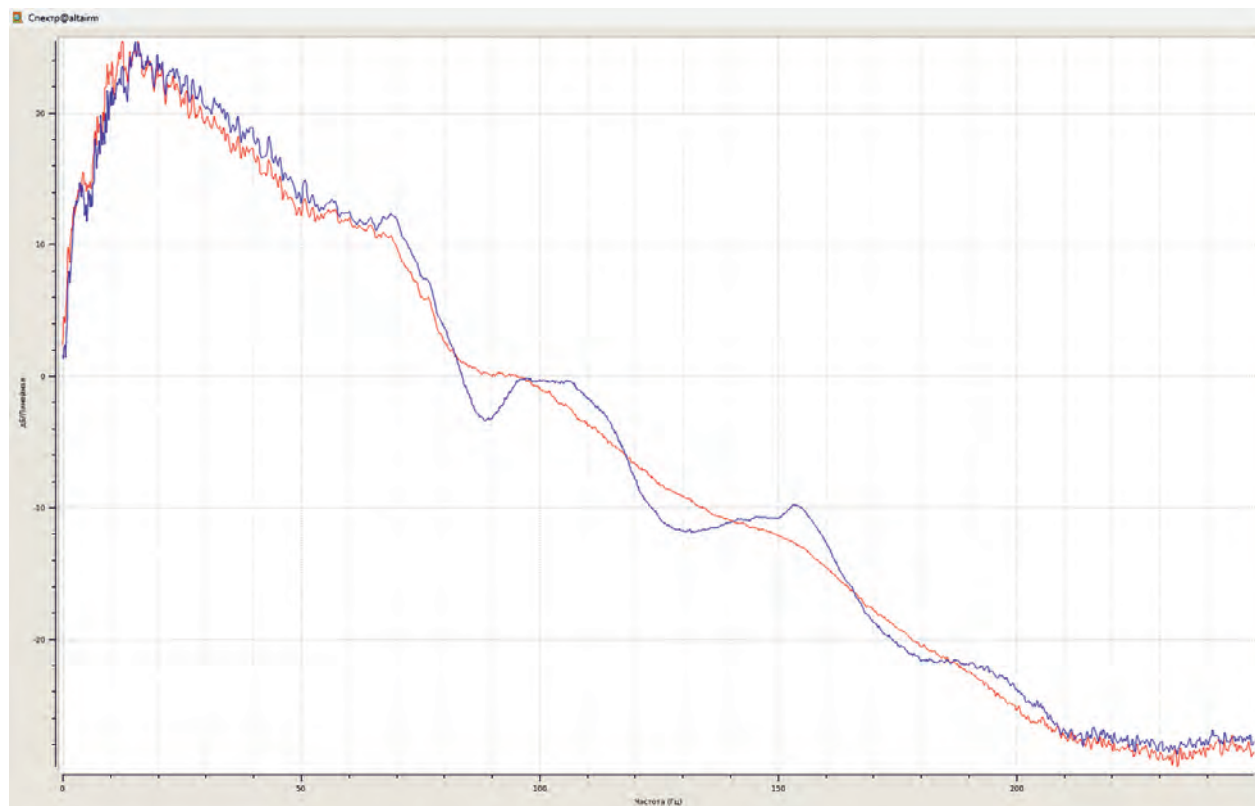
▶ Рис. 12. Сравнение мигрированного изображения, полученного в АЛЬТАИР-М (слева) и иностранном коммерческом ПО (справа).



потенциал программного обеспечения реализован не полностью – в случае решения сложных производственных задач граф обработки должен быть существенно доработан за счет использования дополнительных процедур и функциональных возможностей программного обеспечения. Например, при обработке данных, зарегистрированных на мелководных участках, где отражение от морского дна регистрируется в искаженном виде, и, как следствие, получить корректную сверточную модель кратных верхней части разреза невозможно, рекомендуется использовать специали-

зированный алгоритм моделирования – SWD (Shallow Water De-multiple), реализация которого так же присутствует в рассматриваемом программном обеспечении. Существуют и дополнительные подходы к адаптации моделей – адаптация может быть выполнена, как и в описываемых работах, в t-x-области, так и в более продвинутой реализации – адаптации в curvelet.

Результаты тестовой обработки были сопоставлены с результатами, полученными в одном из современных коммерческих иностранных программных обеспечений. Итоговое сейсмическое



▲ Рис. 13. Сравнение спектров мигрированного изображения, полученного в АЛЬТАИР-М (красный) и иностранном коммерческом ПО (синий).

изображение, полученное в АЛЬТАИР-М, не уступает по качеству результатов иностранному ПО (Рис. 12), а в части отдельных процедур (например, подавления волн-спутников) – превосходит, что дополнительно подтверждается оценками амплитудно-частотных характеристик записи (Рис. 13).

Литература

1. Казанин А.Г., Литвачук А.В., Сидоров Д.Н., Сутягин Н.В., 2024, «РОССИЙСКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ "АЛЬТАИР-М"», Приборы и системы разведочной геофизики 3 (82)/2024, стр. 23-28
2. Литвачук А.В., Казанин А.Г., Горбачев И.В., 2024 "АЛЬТАИР-М" - НОВОЕ РОССИЙСКОЕ ПРОГРАММНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ, В книге: Санкт-Петербург 2024. Геонауки: современные вызовы и пути решений. Сборник материалов 11-й международной геолого-геофизической конференции. Москва, 2024. С. 90-93.