

Разработка и практическая реализация алгоритма деблендинга с использованием SDK АЛЬТАИР-М

■ Литвачук А.В., Казанин Г.А., Казанина М.А.,
Шепелев А.А., Сафонов Д.А., АО «МАГЭ», г. Москва.

Аннотация. Сейсморазведка 3D4C на шельфе обеспечивает существенный прирост информации о геологическом строении изучаемого объекта за счет реализации полноазимутальных наблюдений и регистрации обменного PS-поля, однако реализация подобных полевых работ все еще является достаточно дорогостоящей. Основным фактором ценообразования любых полевых работ – время их выполнения. Сегодня отрасль повсеместно развивается в направлении сокращения сроков производства работ, при этом требуется обеспечить достаточное для решения геологической задачи качество сейсмических данных. В последние десятилетия применение методики выполнения полевых сейсморазведочных работ на шельфе с использованием нескольких перекрывающихся источников (*blended acquisition* или *simultaneous source acquisition*) набрало существенную популярность ввиду неоспоримых экономических и технологических преимуществ. Работы с перекрытием источников разных частотных составов для буксируемой косы ранее уже успешно выполнялись в АО «МАГЭ» [1], однако на шельфе Российской Федерации примеров промышленного выполнения работ с наложением источников для случая 3D4C пока представлено не было. В первую очередь это вызвано отсутствием методической базы и алгоритмов специализированной обработки для таких съемок. В полевом сезоне 2022 г. АО «МАГЭ» реализовало опытно-методические работы 3D4C с одновременным возбуждением сейсмического сигнала двумя эквивалентными источниками – в статье показаны результаты обработки полученных данных с использованием собственных разработок Компании и отечественного программного комплекса для обработки сейсмических данных АЛЬТАИР-М.

Ключевые слова: *deblending*, деблендинг, АЛЬТАИР-М, 3D4C.

Опытно-методические работы 3D4C с использованием нескольких перекрывающихся источников

В 2022 году силами АО «МАГЭ» были выполнены опытно-методические работы с использованием двух судов-источников - НИС «Николай Трубятчинский» и ИС «Вячеслав Тихонов». В качестве регистратора сейсмических данных выступали донные станции КРАБ, расположенные на морском дне по сети профилей 200х200 метров. Расстояние между линиями возбуждения составляло 300 м, между ПВ – 50 м (*flip-flop* 25 м). При синхронной работе суда-источники находились на расстоянии 4 км друг от

друга, то есть выполняли проходы по ЛПВ на противоположных участках площади. Совместное возбуждение синхронизировалось таким образом, чтобы время прихода сигнала от НИС «Николай Трубятчинский» имело задержку от 3 до 5 секунд относительно сигнала с ИС «Вячеслав Тихонов». Синхронизация происходила по радиосвязи между навигаторами с обоих судов. Случайные временные задержки между срабатываниями источников не задавались и были обусловлены исключительно естественными факторами. После завершения совместного отстрела ИС «Вячеслав Тихонов» продолжил выполнение работ

в режиме одиночного источника. Итоговый массив данных составил 36 линий ПВ, 24 из которых перекрывались совместным отстрелом. Общее количество ПВ для одного донного модуля за полный период работ составило 6176, из которых на 4172 имелся шум от второго перекрывающегося источника.

Разработка алгоритма

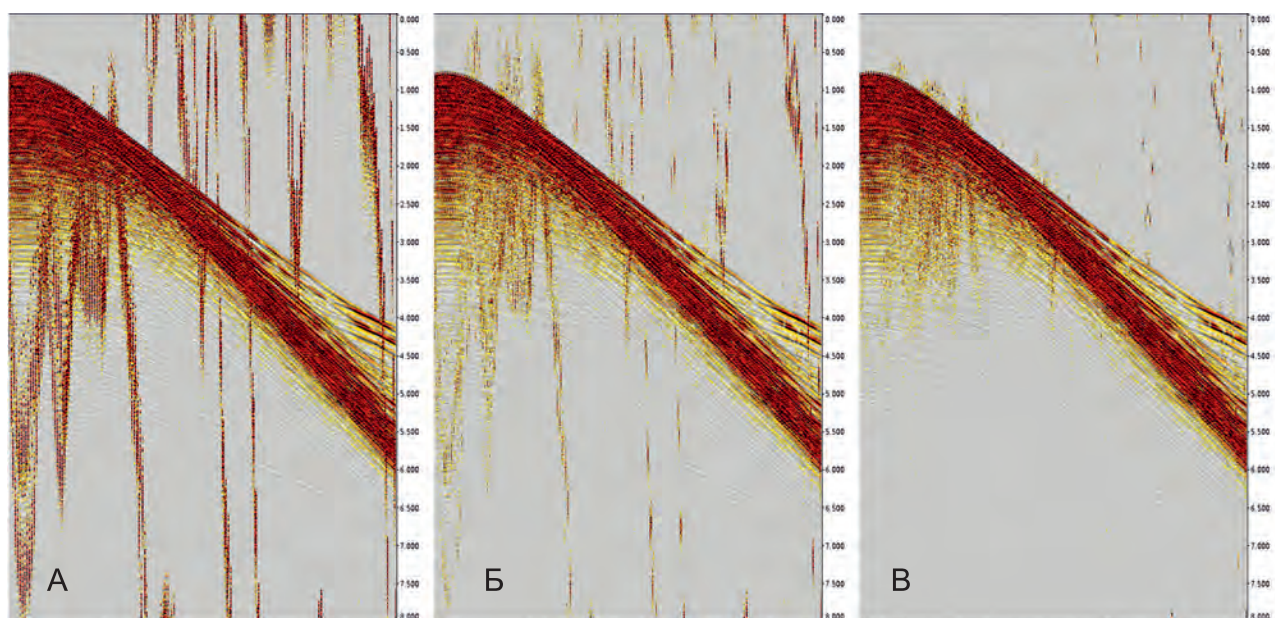
Задача подавления интерференции от второго источника является достаточно сложной – полоса частот сигналов идентична, а уровень энергии вторичного источника часто превалирует над амплитудами однократных отражений. На ранних этапах становления технологии для подавления интерференции использовались различные техники шумоподавления, например, фильтрацию с помощью медианных фильтров [2]. Одновременно с началом использования подобных подходов к обработке стало понятно, что их сложно считать оптимальными и для дальнейшего успешного внедрения съемок с несколькими источниками в производство требуется разработка специализирован-

ных алгоритмов для деблендинга. На сегодняшний день процедура деблендинга представлена в большинстве ведущих иностранных программных пакетов для обработки сейсмических данных и в камеральный период был предпринят ряд попыток выполнить разделение сигналов источников на данных рассматриваемых ОМР с помощью коммерческого программного обеспечения. Все полученные результаты были признаны неоптимальными как в части степени подавления наложенных сигналов, так и ввиду утечки полезного сигнала (Рис. 1) – специализированные процедуры деблендинга подавляли незначительную часть энергии вторичного источника при генерации существенного уровня артефактов (Рис. 1б). Артефакты и остаточный фон помех не могли быть подавлены на последующих этапах обработки с удовлетворительным качеством (Рис. 1в).

Тем не менее, в мировой практике задача разделения источников принципиально решена и многократно реализована в рамках промышленных съемок OBN и не оптимальность доступных

▼ Рис. 1. Пример реализации в иностранном ПО

– а) исходные данные, б) деблендинг, в) деблендинг и медианная фильтрация.



коммерческих решений стала причиной отказа от дальнейшего тестирования в рамках коммерческого ПО и перехода к разработке собственного алгоритма деблендинга.

Одна из основных групп методов основана на применении разреженной (sparse) инверсии для разделения сигнала от разных источников [3]. В качестве разреженного преобразования из всех доступных в сейморазведке преобразований авторами было выбрано оконное 3D преобразование Фурье, преимуществом которого является достаточно простая параметризация и высокая производительность вычислений. Более того, на преобразование Фурье не влияет пространственный аляисинг данных, так как события, которые в области Фурье пространственно неоднозначны, остаются когерентными и разреженными и могут быть восстановлены инверсией. Разреженные преобразования стремятся сконцентрировать сигнал от отражений в одной точке, при этом шум от вторичных источников в области преобразования является некогерентным и не восстанавливается (моделируется) в процессе инверсии. Данный подход достаточно надежен и приводит к эффективному разделению полей при сохранении основного сигнала. Алгоритм был реализован с использованием языка программирования Python и апробирован как на модельных данных [4], так и на данных описанных выше опытно-методических работ. Дальнейшее внедрение в потоковую обработку потребовало оптимизации программного кода к условиям промышленной обработки для чего алгоритм был внедрен в уже существующее программное обеспечение - пакет АЛЬТАИР-М.

Внедрение алгоритма деблендинга ПО АЛЬТАИР-М

АЛЬТАИР-М – российский программный пакет для обработки сейсмических данных. ПО поддерживает работу с любыми типами морских и сухопутных сейсморазведочных данных и имеет полный набор функционала для обработки как во временной, так и глубинной областях [5], и, что особенно важно, предоставляет SDK (software development kit) для внедрения собственных наработок пользователей на ряде популярных языков программирования, в т.ч. Python (2.7 или 3.*). С помощью имеющегося инструментария пользователь может создать собственный интерфейсный модуль с возможностью работы в потрассном, групповом, поверхностно-согласованном и автономном (standalone) режимах. Есть возможность создания как скрипта с минимальной адаптацией (данные передаются/принимаются в виде массивов numpy, словарей Python; таблицы БД – загружаются и передаются в одном из стандартных форматов), так и скрипта с полным контролем над поведением модуля. Для коммерческого распространения разработанных модулей поддерживается проверка целостности, электронных подписей и шифрование исходных кодов. Имеющийся набор функций и подробная техническая документация позволили достаточно быстро внедрить сторонний программный код в среду АЛЬТАИР-М и перейти к работе с полным объемом сейсмических данных. Исходные данные (Рис. 2) представляют собой типичную сейсмическую запись (компонента N), полученную при одновременной работе двух источников – первичная сейсмограмма осложнена высокоамплитудными «помехами», перекрытие сигналов наблюдается во всем интервале записи, в

т.ч. – целевом. Как показано ранее, несмотря на квазислучайность импульсов от второго источника, качественное их подавление медианными фильтрами не представляется возможным, в то время как применение специального алгоритма деблендинга позволило практически

полностью удалить влияние вторичного источника на сейсмическую запись (Рис. 3), при этом полезная часть сейсмической записи не затронута (Рис. 4).

Эффективность предложенного подхода наглядно иллюстрируется на примере сейсмического разреза ОСТ (Рис. 5).

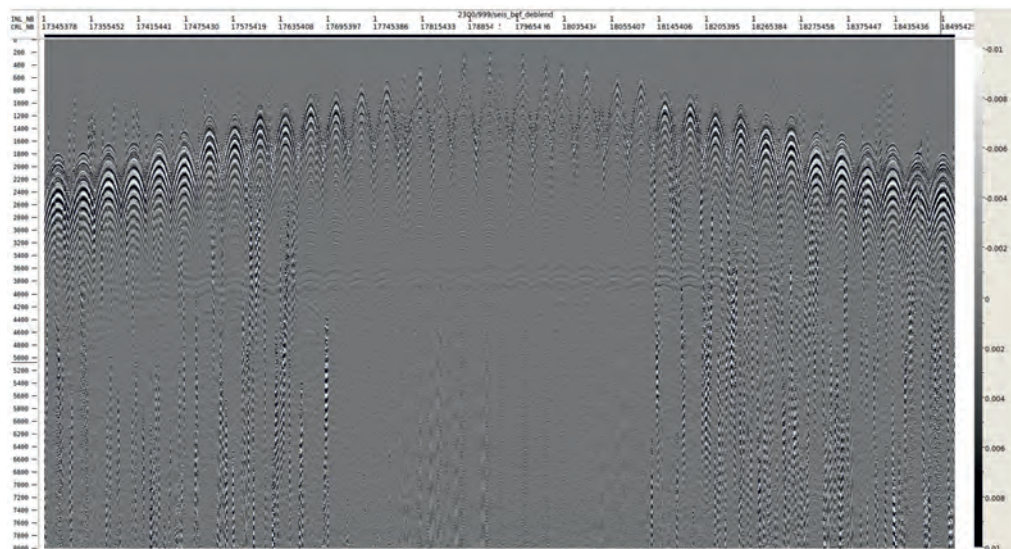


Рис. 2. Сейсмограмма ОПП, зарегистрированная в режиме смешивания источников.

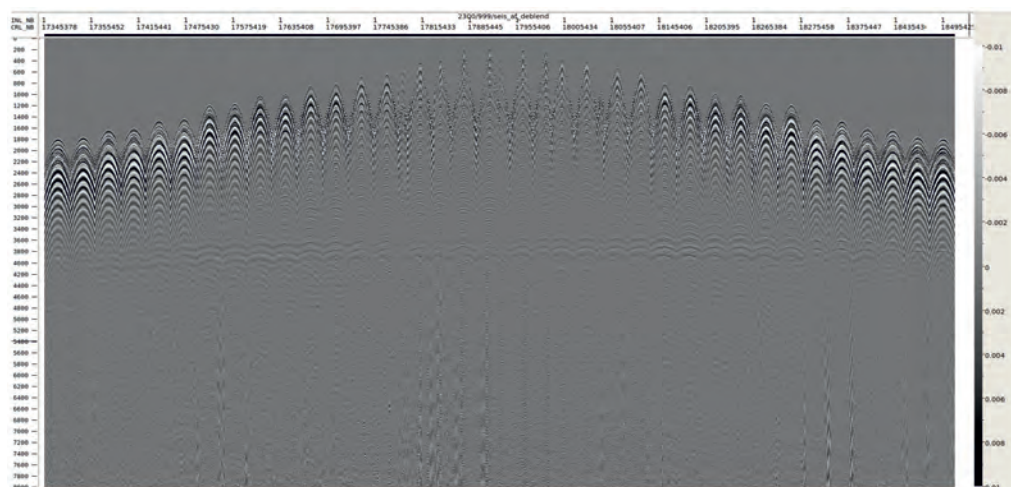


Рис. 3. Сейсмограмма ОПП после выполнения деблендинга.

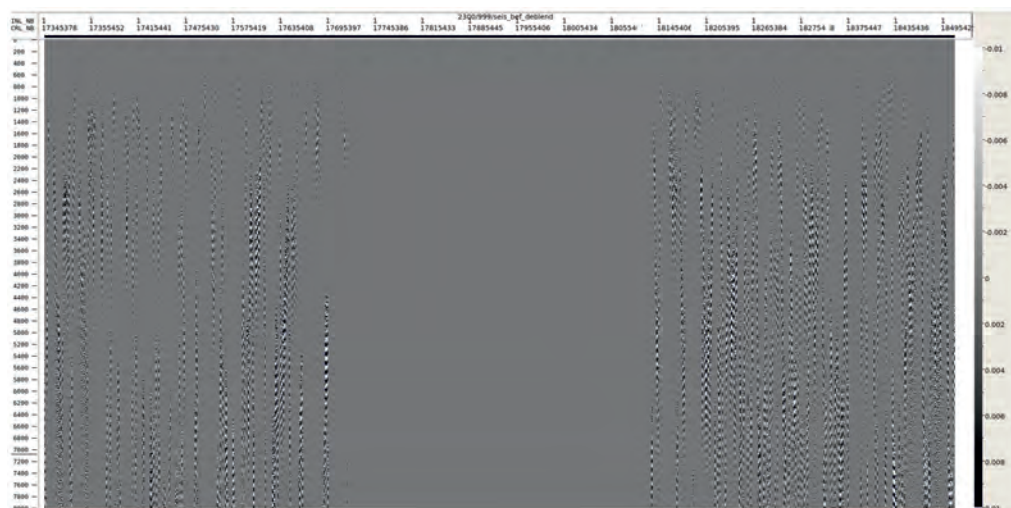
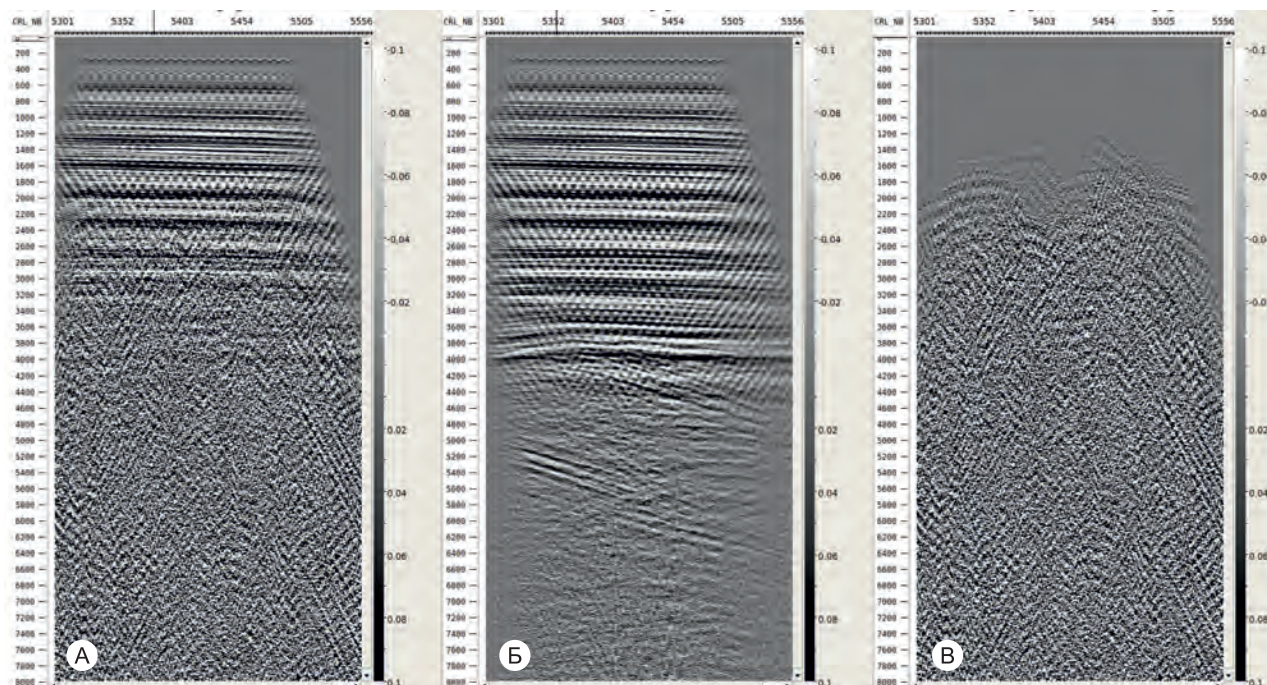


Рис. 4. Сейсмограмма ОПП. Разница «до»-«после» деблендинга.



▲ Рис. 5. Разрез ОСТ. Результат деблендинга А) исходные данные, Б) после деблендинга, В) разница.

Результаты

Изложенная в статье последовательность работ является уникальным примером импортозамещения технологий в области морских геологоразведочных работ – впервые в РФ проведены полевые работы в режиме смешивания сигналов источников, регистрация велась с помощью отечественного донного модуля КРАБ, обработка – на основе собственных алгоритмов, внедренных в российский пакет обработки сейсмических данных АЛЬТАИР-М.

Таким образом, опробован и подготовлен к применению в производстве полный цикл процессов для существенной оптимизации съемок 3D4C, что, безусловно, скажется на дальнейшем внедрении многоволновой сейсморазведки в практику геологоразведочных работ на шельфе Российской Федерации. В результате комплекса выполненных работ определены и пути дальнейшего развития технологии как в части корректировки методики полевых наблюдений [6], так и для дальнейшего развития

алгоритма деблендинга с целью повышения качества получаемых результатов.

Литература

1. Казанин А.Г., Литвачук А.В., Базилевич С.О., Сафонов Д.А. **О возможности одновременного проведения сейсморазведочных работ на шельфе с различными типами источников**, Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 3 (82). С. 55-60.
2. Abma R., Foster M. S. **Simultaneous source seismic acquisition**. – Society of Exploration Geophysicists, 2020, 205 с.
3. Mahmoudian F. Curtis J., Meersman K. et al. **Deblending of simultaneous source data**. //Geoconvention conference and exhibition, extended abstracts – 2023 – С. 1 – 8
4. Казанин Г.А., Гайнанов В.Г., Литвачук А.В., Ткач В.С. **Разделение сигналов от перекрывающихся источников на примере синтетически смешанных данных морской сейсморазведки с**

донными станциями // Приборы и системы разведочной геофизики. № 4. 2024. С.72-81.

5. Казанин А.Г., Литвачук А.В., Сидоров Д.Н., Сутягин Н.В. **Российское программное обеспечение для обработки сейсморазведочных данных "АЛЬТАИР-М"**, Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 3 (82). С. 23-28.

6. Казанин Г.А., Гайнанов В.Г., Базилевич С.О. **Влияние случайной задержки между возбуждением сигналов при перекрывающемся отстреле на характер наблюдаемого шума** // Приборы и системы разведочной геофизики. № 4. 2024. С.52-58

