

Связь между сейсмогеологическими условиями исходных данных сейсморазведки МОГТ-3D и методами регуляризации: выбор оптимального решения

■ Токарь Н.А., Чистяков И.А., Ляпин Н.В., Гаврилов С.С., ЗАО «МиМГО», г. Москва.

■ Литвиченко Д.А., ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ НТЦ», г. Москва.

Сейсмические данные чаще всего являются нерегулярными. Выбор оптимального способа регуляризации обычно осуществляется (релизуется) путем тестирования различных методик и сопоставления результатов на тестовом участке и зависит от конкретных задач на проекте. В статье представлен сравнительный анализ применения регуляризации 3D в панелях общих удалений и с сохранением азимутов и 5D для разных регионов и сделаны выводы относительно преимуществ и ограничений методов.

Ключевые слова: регуляризация, повышение эффективности сейсморазведки.

Введение

Необходимость регуляризовать данные вызвана в первую очередь требованиями последующей миграции. Регуляризация обеспечивает минимизацию проявлений артефактов миграции, что является актуальной задачей каждого проекта обработки, ввиду повышающихся с каждым годом требований к качеству результатов обработки (имеется ввиду результирующее S/N волнового поля), что являются фактурой для последующей динамической интерпретации. Однако и другие процедуры обработки, например, некоторые алгоритмы шумоподавления, также стабильно и эффективно работают на регулярных исходных данных и при плотной сети наблюдения. Объединение съемок с разной системой наблюдения, наличие эксклюзивных зон - также факторы, оказывающие влияние на выбор метода регуляризации.

Методы регуляризации и их вариации разнообразны. Среди наиболее популярных: 3D регуляризация по панелям общих удалений, 3D регуляризация по панелям COV (common offset vector), позволяющая сохранить азимутальность и 5D регуляризация, наиболее ресурсоемкая. Результаты регуляризации существенно зависят от технической реализа-

ции используемых алгоритмов, поэтому сразу оговоримся, что выполненное нами тестирование было реализовано в ПО Geovation 2, модуль frend с использованием алгоритма, аналогичного ALFT (antileakage Fourier transform). При сопоставлении результатов регуляризаций анализировались сейсмограммы, суммарные разрезы на предмет заполняемости пропусков, распределения амплитуд, сохранения детальности, сохранения осей дифракций, также анализировались затраченное время и мощности, и выбирался оптимальный вариант.

Теория

Регуляризация 3D и 5D основана на работе алгоритма, известного как преобразование Фурье против утечки, он же antileakage Fourier transform (ALFT). Выполняется временное быстрое преобразование Фурье (БПФ), за которым следует пространственное нерегулярное БПФ.

Обратное преобразование применяется для восстановления трасс либо в центрах бинов (регуляризация), либо в определенных координатах (картирование), а обратное временное БПФ восстанавливает все требуемые дискреты для каждой трассы.



Рис. 1.
Схема работы
алгоритма ALFT.

Неортогональность базисных функций Фурье на нерегулярной сетке приводит к явлению, известному как спектральная утечка, в результате которой энергия от одного коэффициента Фурье просачивается на другие. Алгоритм ALFT исправляет данную проблему при помощи неоднородного дискретного преобразования Фурье.

Этапы алгоритма следующие:

1. При помощи неоднородного прямого дискретного преобразования Фурье вычисляются коэффициенты Фурье:

$$\hat{f}(w_k) = \frac{1}{\Delta x} \sum_{l=1}^n \Delta x_l f(x_l) e^{-2\pi i k x_l} \quad (1)$$

2. Выбирается коэффициент с максимальной энергией.

3. При помощи обратного преобразования Фурье получаем сигнал, соответствующий данной гармонике:

$$f^k(x_l) = \hat{f}(w_k) e^{2\pi i k x_l} \quad (2)$$

4. Вычитается вклад данной гармоники из исходного сигнала:

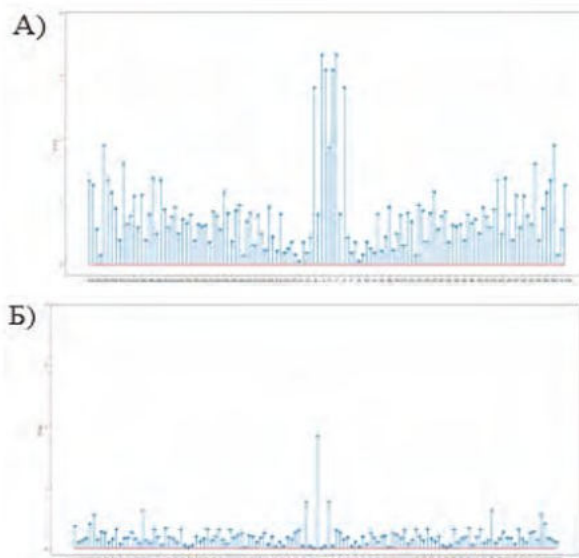
$$f^n(x_l) = f(x_l) - f^k(x_l) \quad (3)$$

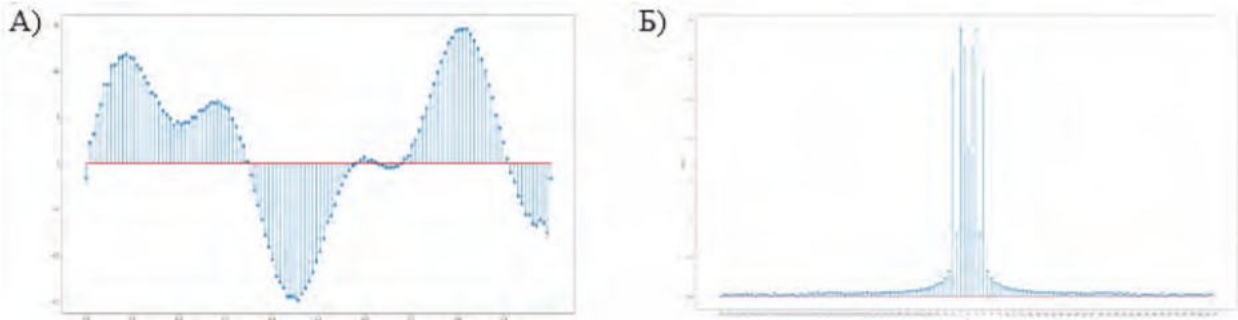
5. Остаточный сигнал подаётся снова на прямое неоднородное дискретное преобразование Фурье, и все этапы

повторяются аналогично до достижения оптимального уровня утечки спектра.

На рисунке 1 схематически представлена работа алгоритма на модельных данных для случая 1D. Рисунок 2 иллюстрирует падение уровня утечки в результате 3-х итераций выполнения алгоритма. В результате достижения оптимального уровня утечки, проводится обратное дискретное преобразование Фурье восстановленного спектра на регулярную сетку.

Рис. 2. А) спектр смоделированного нерегулярного сигнала до выполнения алгоритма, Б) остаточный спектр сигнала после 3-х итераций цикла.





▲ Рис. 3. А) восстановленный сигнал, Б) спектр восстановленного сигнала.

Рисунок 3 показывает результаты восстановления модельных данных.

Примеры

В трех регионах (Западная Сибирь, Центральная Россия и Республика Калмыкия) было выполнено сравнение результатов трех вариантов регуляризации: 3D по панелям общих удалений, 3D по COV-панелям и регуляризация 5D. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, например, 3D по панелям общих удалений очевидным образом не позволяет сохранить азимутальность, а 5D регуляризация требует значительных мощностей и большого времени счета.

Сейсмические данные из примера 1 расположены в Западной Сибири и характеризуются наличием обширных эксклюзивных зон (зона пропуска в ПВ больше 2500 м). При заполнении пропуска в случае регуляризации по панелям общих удалений наблюдается искажение (завышение) амплитуд, главным образом из-за эффектов заполнения отсутствующих классов удалений в области малых времен и ближних удалений информацией из соседних классов, в которых присутствует сигнал, подверженный эффектам кинематической растяжки. В случае 3D регуляризации по COV-ам такого эффекта не наблюдается, однако на временном срезе можно заметить просадку по амплитудам в

области баженовской свиты. На примере сейсмограммы ОГТ, взятой из точки максимального отсутствия ближних удалений видно, как удаётся восстановить не только недостающие удаления, но и одновременно распределение азимутов для регуляризации 3D по COV-ам и 5D регуляризации. 5D регуляризация так же позволяет восстановить удаления исходя из проектного положения ПВ и ПП, таким образом сейсмограммы ОГТ после 5D регуляризации имеют равномерное распределение по удалениям, азимутам, заполнение пропуска происходит без потери детализации (Рис. 4). 5D регуляризация демонстрирует оптимальный вариант из тестируемых по восстановлению динамических характеристик разреза и более слабому проявлению артефактов миграции после престек миграции Кирхгофа.

Сейсмические данные из второго примера относятся к тому же региону, характеризуется отсутствием больших пропусков в системе наблюдения, за исключением некоторых смещений ПВ в эксклюзивных зонах. Анализ демонстрирует сопоставимость результатов 5D регуляризации с регуляризацией 3D по COV-ам (Рис. 5). В то же время по сейсмограммам после 3D регуляризации в панелях общих удалений после выполнения престек миграции видно большое количество артефактов миграции (Рис. 6).

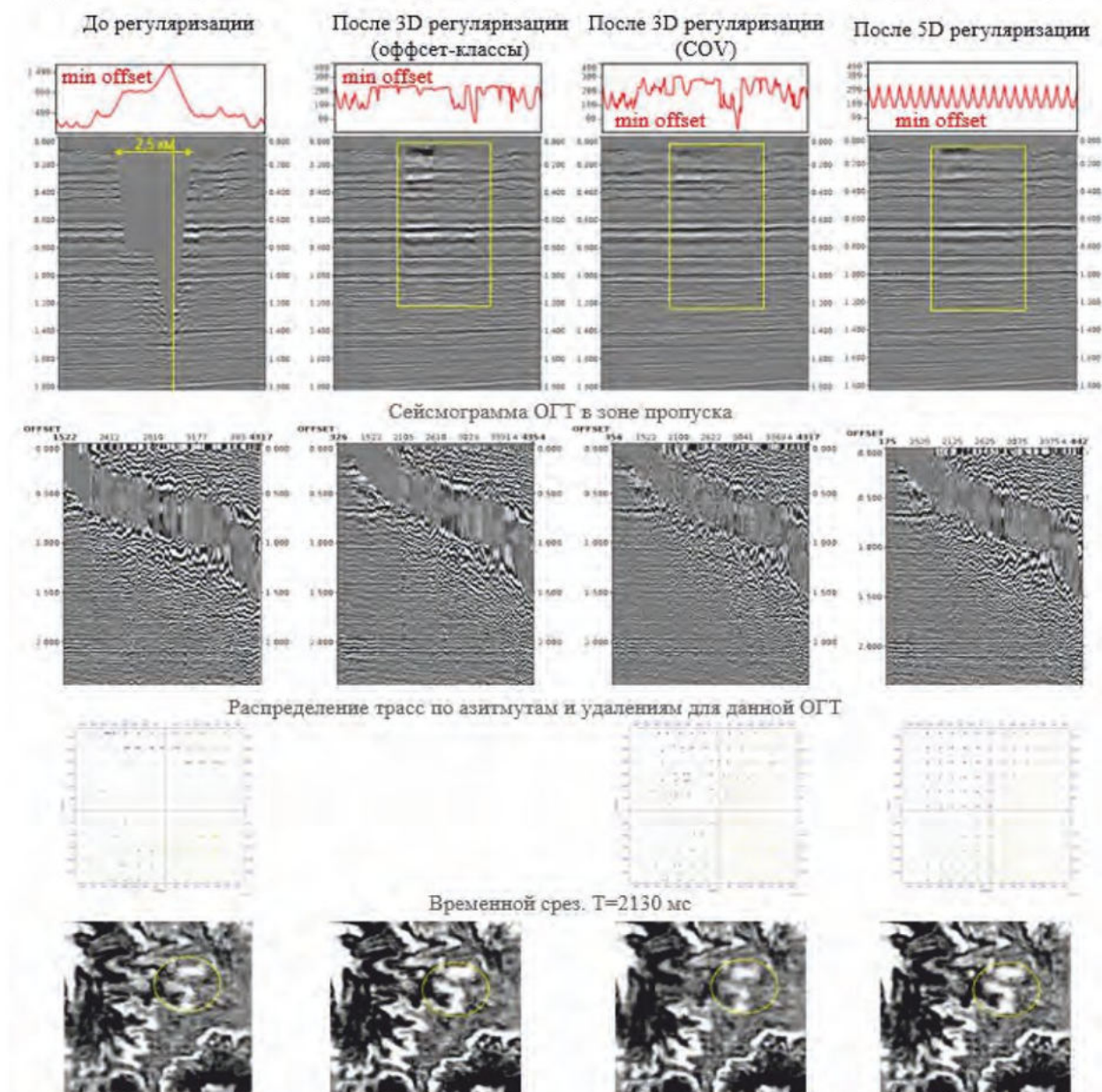
Следующее тестирование выполнено

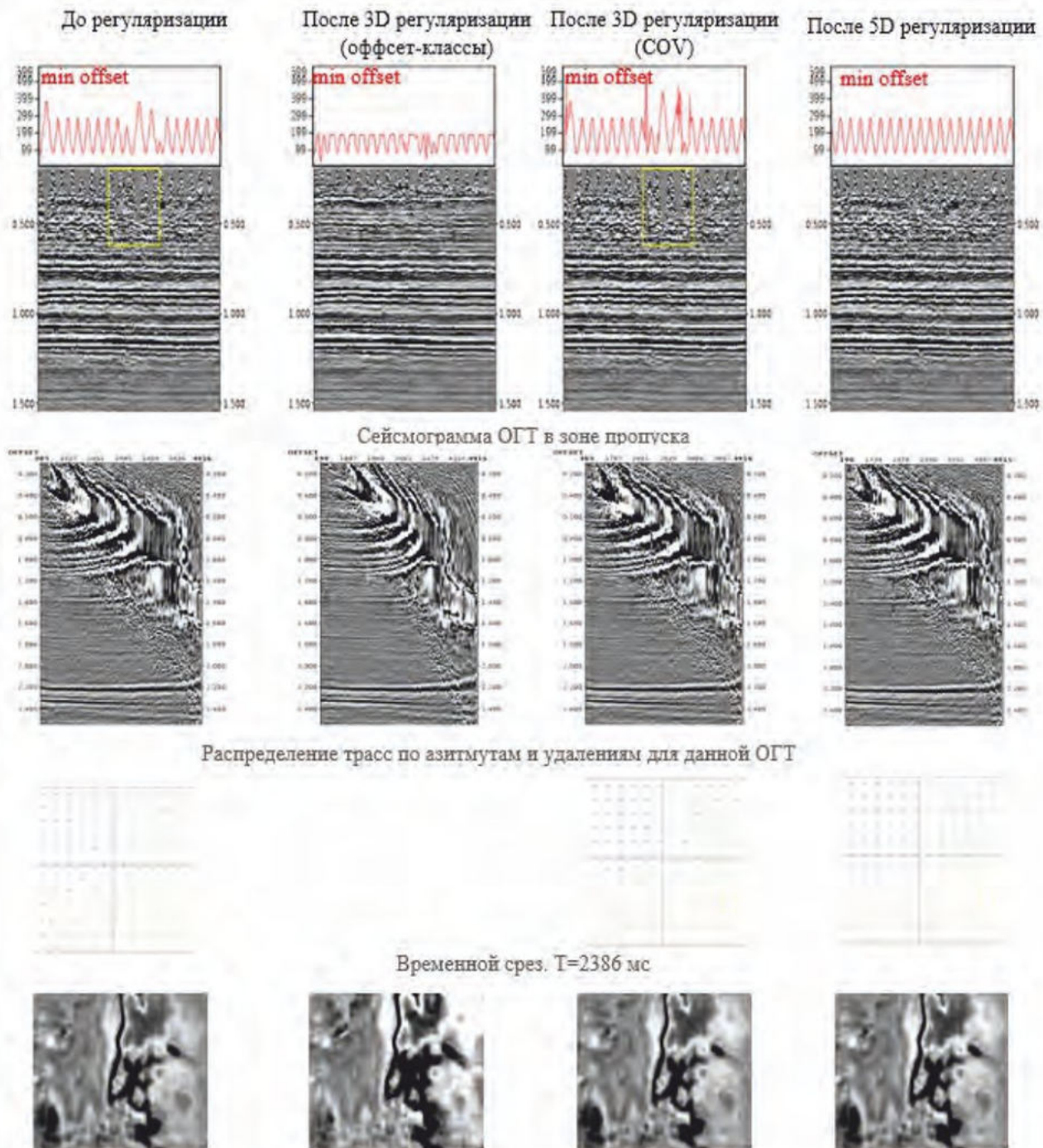
на примере данных из центральной России, где система наблюдения характеризуется наличием большого числа пропусков. Результаты всех протестированных вариантов регуляризации можно назвать сопоставимыми, однако на сейсмограммах ОГТ после 5D регуляризации чуть лучше отношение сигнал/помеха (Рис. 7). По результатам AVO-анализа лучший коэффициент корреляции наблюдается также у регуляризации 5D, хотя отличие от регуляризации 3D по

COV-ам незначительное (Рис. 8).

Заключительный пример для тестирования выбран из республики Калмыкия. Система наблюдения практически регулярная. Высокоскоростной разрез содержит информацию о сложном сейсмогеологическом объекте. Для тестирования методов регуляризации был создан искусственный пропуск ПВ в области склона геологического объекта. На примере суммарных разрезов и ближних удалений сейсмограмм ОГТ после регу-

▼ Рис. 4. Фрагмент суммарного разреза, сейсмограммы ОГТ, временного среза и распределение трасс сейсмограммы ОГТ по азимутам и удалениям для разных типов регуляризации Пример 1.

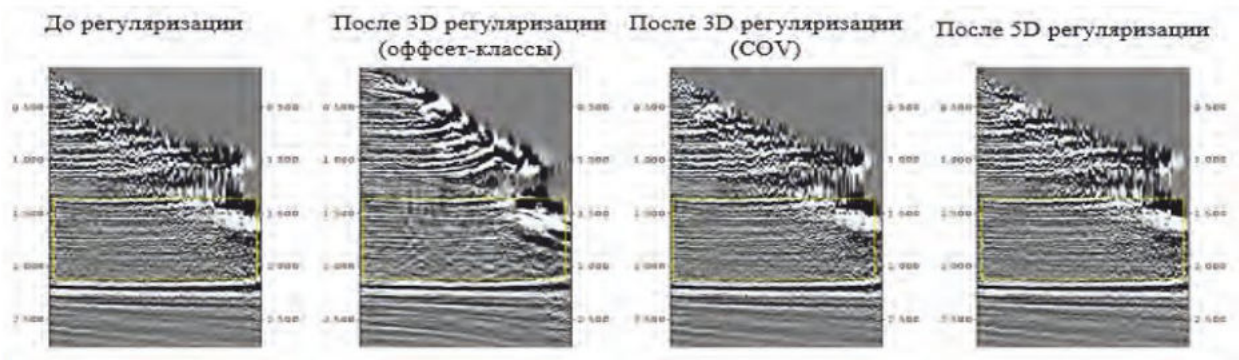




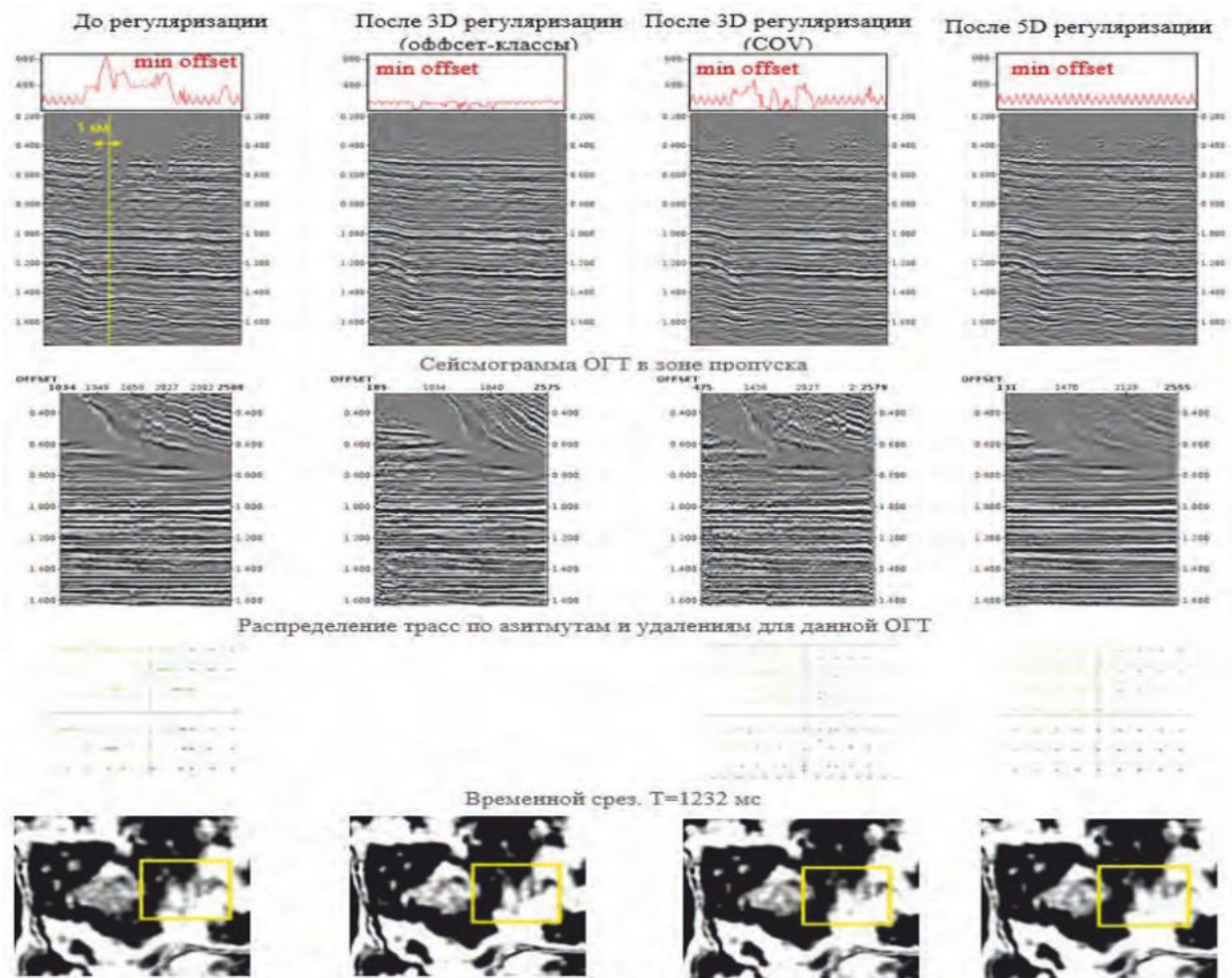
▲ Рис. 5. Фрагмент суммарного разреза, сейсмограммы ОГТ, временного среза и распределение трасс сейсмограммы ОГТ по азимутам и удалениям для разных типов регуляризации. Пример 2.

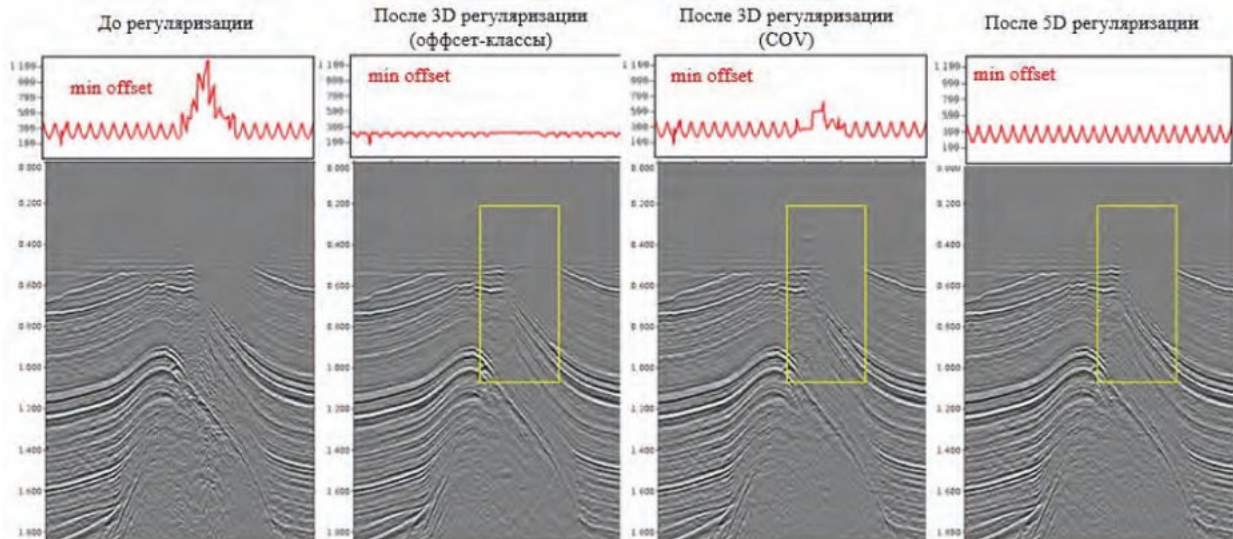
ляризации видно, что все методы заполнили пропуск по-разному (Рис. 9., Рис. 10). Стоит отметить, что корректно заполнить искусственный пропуск не удалось ни одному методу регуляризации, что видно на сравнении данных престек миграции исходного (без пропуска)

материала с мигрированными результатами регуляризаций (Рис. 11). Во всех случаях наблюдается появление ложного горизонтального события, кроме того результат регуляризации 3D по COV-ам имеет большое количество артефактов миграции.

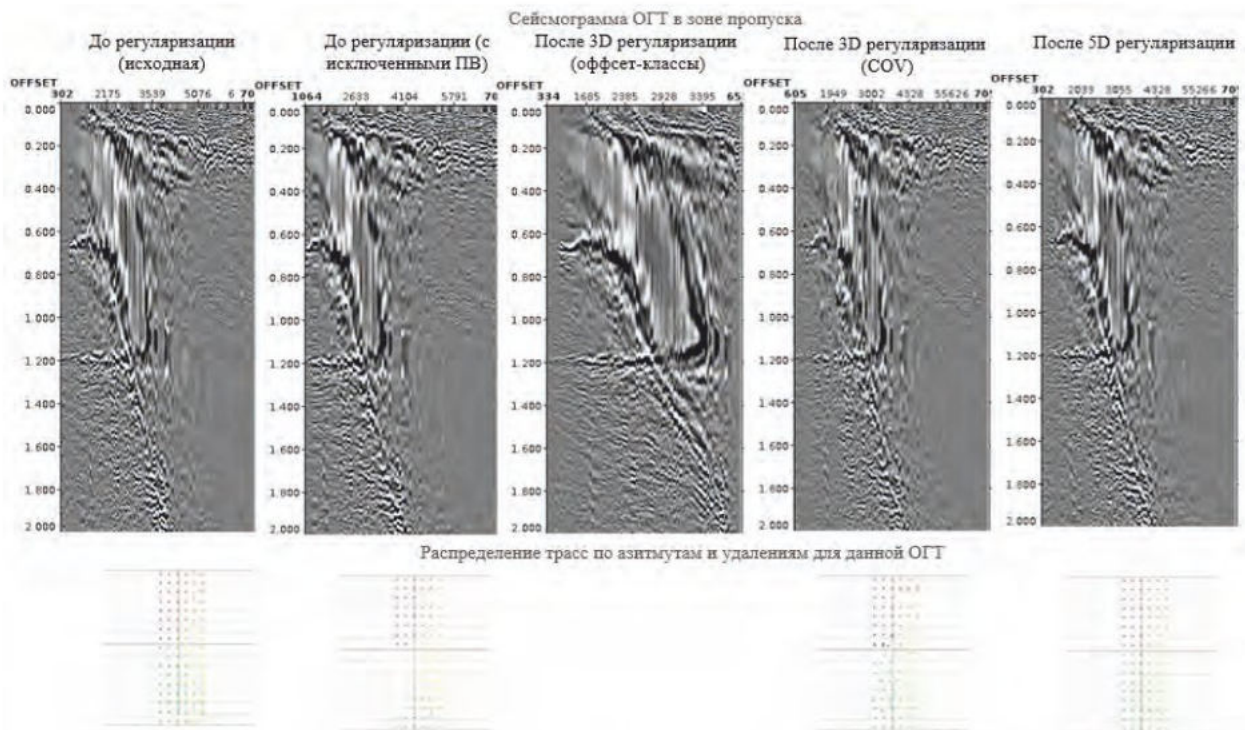


▲ Рис. 6. Сейсмограмма ОГТ в зоне пропуска после престек миграции. Пример 2.

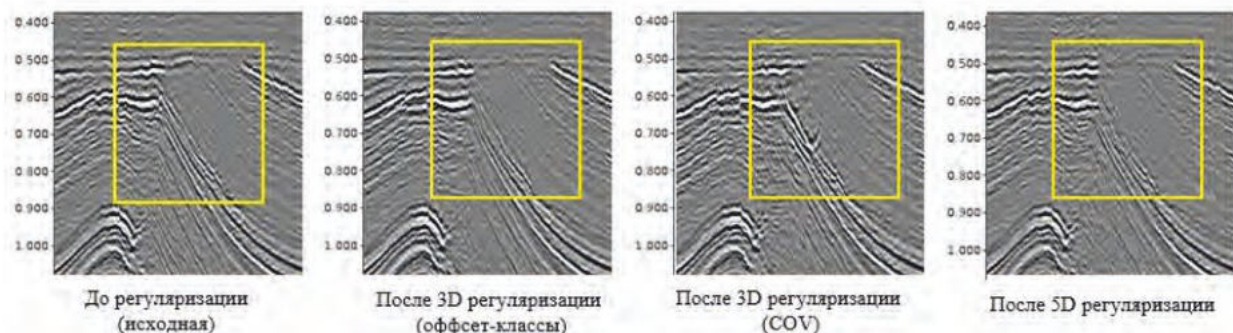




▲ Рис. 9. Фрагмент суммарного разреза. Пример 4.



▲ Рис. 10. Фрагмент сейсмограммы ОГТ и распределение по удалением и азимутам. Пример 4.



▲ Рис. 11. Сопоставление результатов престек миграции исходного разреза (без пропуска) с мигрированными регуляризованными данными. Пример 4.

Выводы

Подводя итоги выполненному тестированию, стоит учитывать ресурсоемкость и время, требуемое для расчета разных методов регуляризации. 3D регуляризации по панелям общих удалений и COV-ам сравнительно сопоставимы по затратам, в то время как 5D регуляризация в зависимости от выбранных параметров требует значительно больших мощностей и как правило в несколько раз большего времени счета для достижения преимущества результата. Регуляризация по панелям удалений имеет существенный недостаток – потерю азимутальности, однако для определенных задач, например, получения куба fasttrack, построения начальной ГСМ или корреляции горизонтов, может успешно и эффективно применяться в графе обработки. Регуляризация 3D по COV-ам показывает сопоставимый результат с 5D регуляризацией при отсутствии больших пропусков в системе наблюдения и позволяет значительно минимизировать вычислительные ресурсы. 5D регуляризация является хорошим инструментом, позволяющим с одной стороны корректнее заполнять значительные пропуски, с другой сохранять динамику, поверхностно-согласованность, азимутальность и детальность разреза. Однако в случае наличия объектов со значительной изменчивостью скоростных характеристик по латерали, к результатам любых методов регуляризаций стоит подходить осторожно, так как зона пропуска является зоной риска для структурной и динамической интерпретации. Также стоит отметить, что регуляризация во всех вышеперечисленных примерах выполнялась по стандартной методологии (с едиными базовыми параметрами).

В продолжении данной работы планируется провести оценку разницы волно-

вого поля при уплотнении съёмки регуляризацией 5D и исходными уплотнёнными данными, а также оценить качество восстановления (сохранения) азимутально-зависимой информации при регуляризации 3D по COV-ам и 5D для анизотропно-азимутальной томографии.

Подробнее об авторах



Токарь
Наталья Александровна

ЗАО «МиМГО»,
ведущий
геофизик.



Чистяков
Игорь Алексеевич

ЗАО «МиМГО»,
геофизик.



Ляпин
Николай Вячеславович

ЗАО «МиМГО», заведующий
сектором обработки
сейсмических данных.



Гаврилов
Сергей Сергеевич

директор ЗАО «МиМГО»,
к.г.-м.н.



Литвиченко
Дмитрий Александрович

ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ НТЦ»,
эксперт по обработке
данных сейсморазведочных
работ.