

Несостоятельность стандартных подходов к оценке качества сейсмических материалов при использовании высокоплотных методик СРР

■ Бекешко П.С., ООО «ГеоПрайм», г. Санкт-Петербург.

В статье рассматривается ряд тезисов, встречающиеся в локально-нормативных документах (ЛНД) нефтегазовых компаний для проведения сейсморазведочных работ, которые базируются на «Инструкции по сейсморазведке», утв. МинГЕО СССР в 1986. В работе так же представлены некоторые примеры результатов обработки, которые, по мнению авторов, могут быть использованы, как доказательная база для изменения имеющихся регламентов или же позволит супервайзерам принять более взвешенное решение при обсуждении спорных вопросах при проведении СРР.

Введение

За последних два десятилетия рынок сейсморазведочных работ несколько преобразился. Все изменения были связаны с переходом на новые типы вибрационных источников, излучаемые свип-сигналы, отказ от группирования источников и переход на точечные приемники, использование новых систем регистрации, которые способны обеспечить поддержку большого количества активных каналов, широкоазимутальные системы наблюдения, использование высокочувствительных широкополосных сейсмоприемников, высокопроизводительные методики flip-flop/slip-sweep, слепые и полуслепые нодальные системы регистрации, увеличение плотности трасс на квадратный километр съемки за счет уменьшения шага между ПП и ПВ, технологии «быстрых» источников (ISS) и все это с учётом минимального влияния на окружающую среду при проведении СРР.

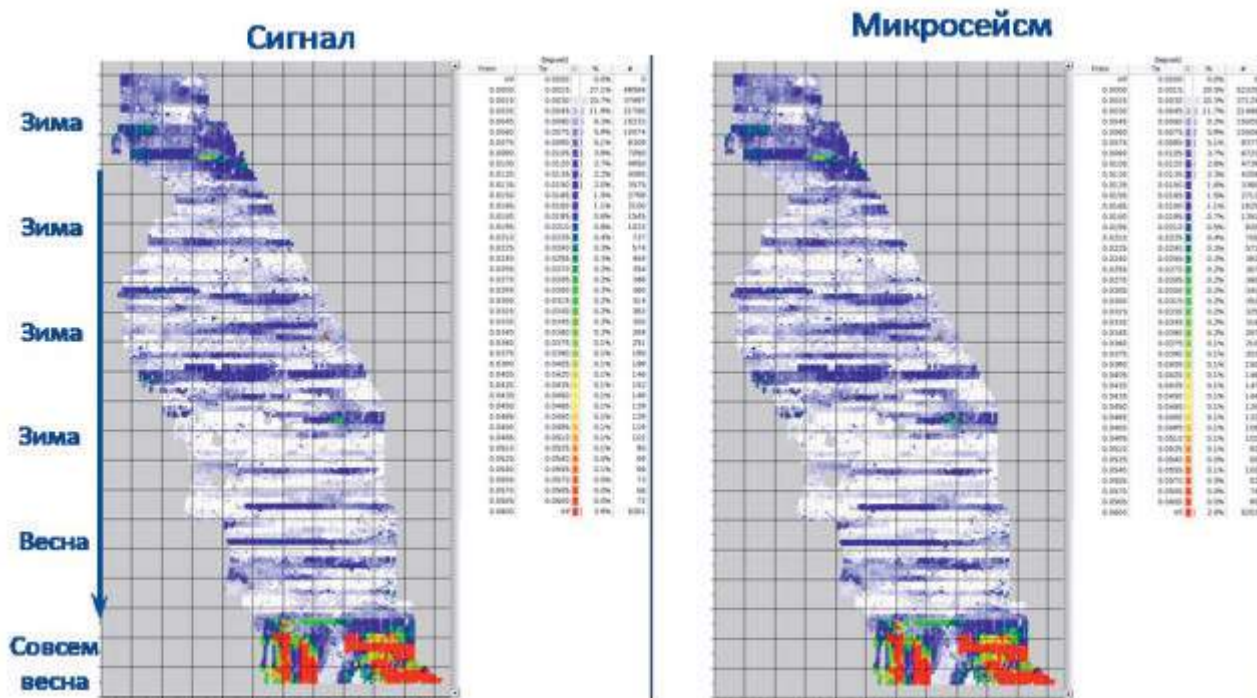
Не смотря на такие колоссальные изменения технологий и методик, требования к проведению полевых работ и качеству исходных сейсмических данных в России остаются такими же, как и 30 лет назад, либо еще сильнее ужесточаются. Это обусловлено тем, что многие опираются на архаичные инструкции и локальные нормативные документацы (ЛНД), разработанные на заре 3D сейсморазведки РФ и слабо коррелирующие с актуальными методиками проведения сейсморазведочных работ, изменение

которых требуют большой инвестиции времени и сил отдельных специалистов нефтегазовых компаний. К сожалению, часть технологий до сих пор не получила широкого применения на отечественном рынке из-за ряда причин:

- Наличие рисков при внедрении новых технологии, который никто из специалистов не может брать на себя
- Экономическая целесообразность при разведке в определенных регионах
- Общий консерватизм геофизического сообщества

Примеры

Первый пример затрагивает самую распространённую количественную оценку качества данных — отношение RMS-амплитуд сигнал к микросейсам. При этом во всех заданиях на регистрацию указано, что данная величина не должна быть ниже определенного значения или может быть уточнена во время проведения ОМР перед основными работами. Имея разнообразный накопленный опыт обработки сейсмических данных с различными системами наблюдения, можно однозначно утверждать, что при использовании высокочувствительных одиночных сейсмоприемников без группирования, мы всегда будем иметь очень низкие значения отношения сигнал / микросейсм. При достаточной плотности трасс этот «недостаток» может быть полностью нивелирован современными процедурами

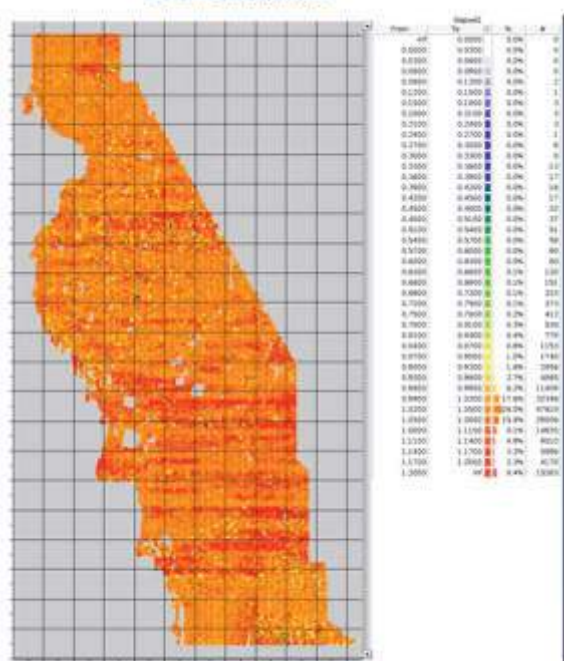


▲ Рис. 1. Карты RMS-амплитуд в окне полезного сигнала (слева) и в микросейсм (справа).

обработки, о которых разработчики «Инструкции по сейсморазведке» в 1986 году ничего не могли знать. На рисунке 1 приведен пример карт RMS-амплитуд сигнала, микросейсм и их отношения, рассчитанные в соответствующих пространственно-временных окнах. Данные были получены по технологии UniQ, с использованием приемников типа GAC, плотность трасс составила порядка 11 млн. на квадратный км.

Визуально можно видеть, что две карты почти не отличаются друг от друга. Слева на рисунке отмечено направление и указаны временные отметки, в южной части площади наблюдается увеличение амплитуд, что связано в первую очередь с изменением качества данных из-за нестабильной работы активной расстановки, таянья снега и увеличения шумов от окружающей среды. На рисунке 2 представлена карта отношения амплитуд сигнала к микросейсмам, а также приведены примеры исходных сейсмических данных. На карте видно, что основное множество значений лежит в диапазоне 0.95–1.2, что является показателем «плохого» качества сейсмических данных или же может квалифицироваться как безусловный брак по большинству стандартных требований. Как было отмечено ранее, данный

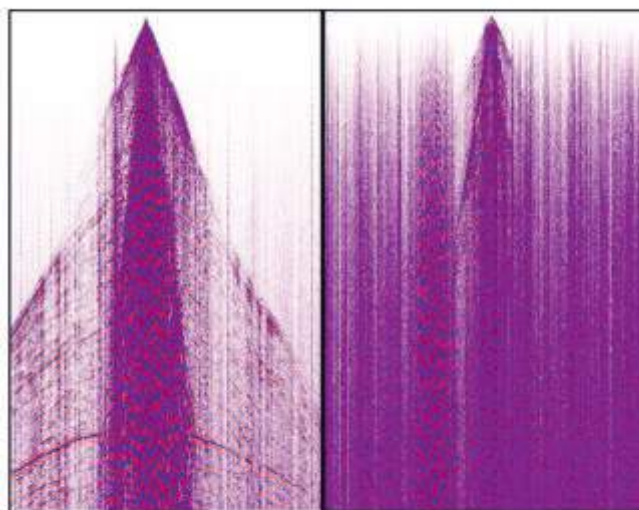
критерий не может в полной мере дать однозначную и объективную оценку будущему результату, так как он не учитывает имеющейся плотности трасс и возможности современных алгоритмов обработки данных, а также особенностей работы ряда процедур при работе с данными высокой плотности. Анализируя сейсмограммы ОПВ можно видеть, что на сейсмограмме с низким отношением сигнал/шум тяжело проследить оси синфазностей отражённых волн. Любой специалист или супервайзер могут забраковать подобный материал, т.к. его опыт и знания говорят, что это некондиционный материал. На рисунке 3 представлен исходный временной разрез в южной части площади, которая была отработана в весенний период времени, и временной разрез после предварительной обработки с использованием современных алгоритмов шумоподавления: частотно-зависимые фильтрации и трансформации волнового поля, алгоритмы сейсмической интерферометрии для моделирования поверхностной волны в реальных координатах ПП/ПП и адаптивные вычитания в различных сортировках и пространствах. Смотря на результат ослабления шумовой составляющей на рисунке 3, можно однозначно утверждать,



▲ Рис. 2. Карта отношения RMS-амплитуд сигнал/микросейсм и примеры сейсмограмм.

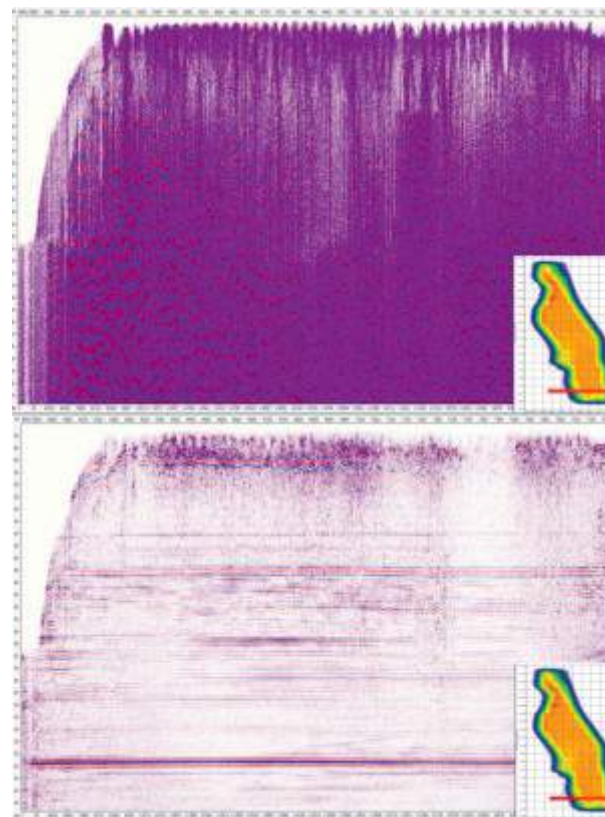
что любые предварительные количественные и качественные оценки данных не могут предсказать какого качества будет финальный продукт. Причина проста: у большинства специалистов отсутствует опыт и понимание, как же плотность трасс может влиять на результат работы современных алгоритмов ослабления помех для данных высокой плотности.

Второй случай, который бы хотелось рассмотреть — шумы, носящие переменный характер (техника, автомобильный транспорт), которым уделяется большое внимание во время проведения СРР, и каждый раз они становятся причинами отбраковки хорошего материала и последующей бесполезной повторной отработки ПВ, либо к ожиданию снижения влияния данных помех в рабочей расстановке в процессе регистрации сейсмических данных, что приводит к существенному снижению темпов работ. В данном случае всегда появляется вопрос: мы позволяем себе иметь стационарные источники шума на площади, т.к. ничего не можем с ними поделать, но очень ревностно относимся к переменным источникам шума. Однако, это большое заблуждение, связанное с общепринятым восприятием и анализом сейсмических данных. Большинство геофизиков



считает, что обработчики работают с сейсмограммами ОПВ, но это не так. После получения материалов на ВЦ, в первую очередь данные преобразуются из сейсмограмм ОПВ в сейсмограммы кросс-спред (крестовые сейсмограммы). Сейсмограммы

▼ Рис. 3. Примеры временных разрезов до и после предварительной обработки.



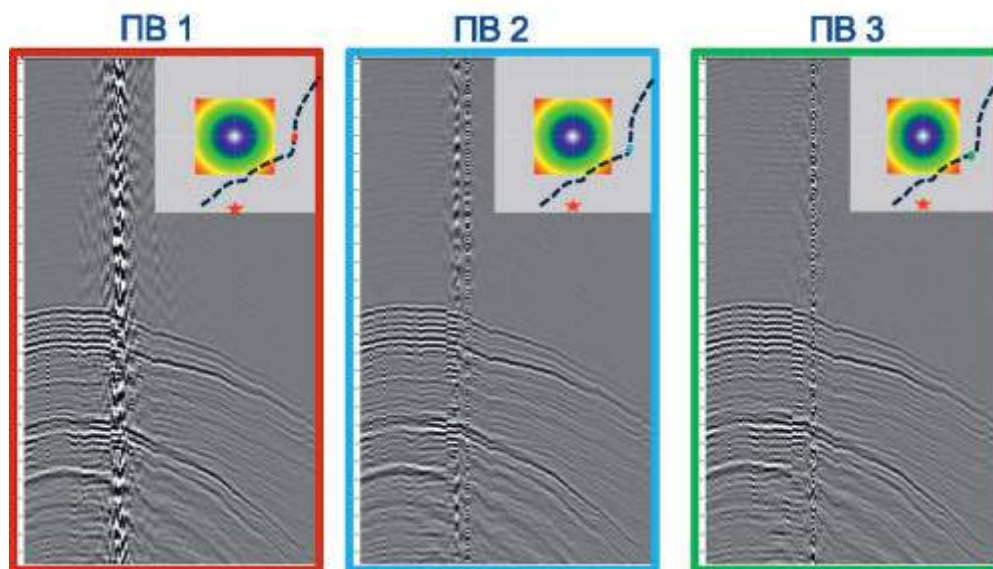


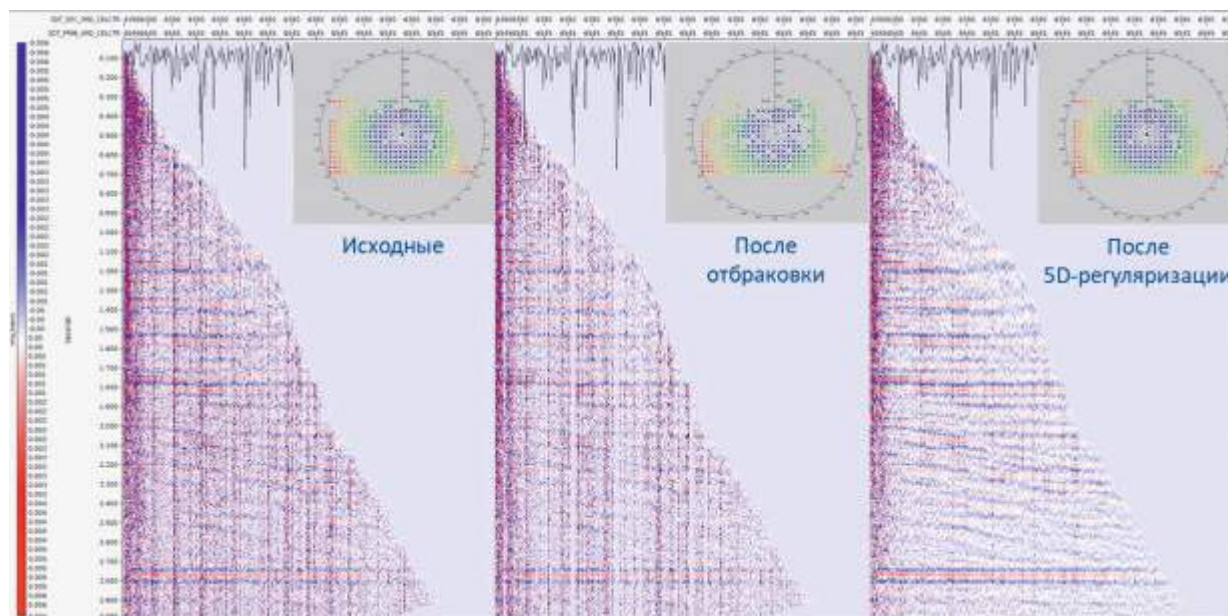
Рис. 4.
Пример
фрагментов
сейсмограмм
ОПВ при
перемещении
транспорта
вблизи
ЛПП.

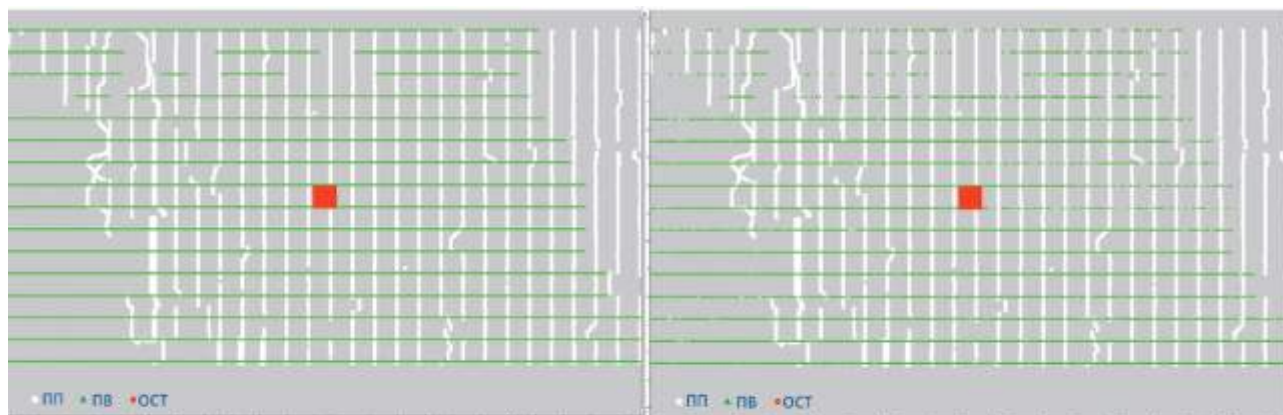
кросс-спред — трехмерная выборка сейсмических данных с равномерным распределением трасс по двум пространственным направлениям. Равномерность обеспечивается за счёт шага по ПВ и ПП. При этом каждый ПВ в этой выборке имеет уникальный номер, что позволяет получить фрагменты сейсмограмм ОПВ отстреленные в разные промежутки времени, что делает ее случайной в пространстве времени, а регулярные помехи от автомобильной техники становятся внутри такой выборки нерегулярными. Получается, что данная выборка содержит в себе сейсмограммы ОПВ и может быть легко пересортирована в сейсмограммы ОПП. На

рисунке 4 представлен фрагмент трех сейсмограмм ОПВ из выборки кросс-спред. Видно, что для ПВ-1 случайная помеха от транспорта занимает большой диапазон, но на ПВ-2 и ПВ-3 её интенсивность уже спадает, т.к. транспорт смещается в сторону от линии приёма. Применять процедуры ослабления шума в сортировке ОПВ будет не эффективно, но переход в выборке кросс-спред и применение трехмерных процедур, работающих одновременно в трех ортогональных направлениях, решает эту задачу.

Третий пункт, которому хотелось бы уделить внимание — потери кратности (не более 10%), наличию нескольких подряд

Рис. 5. Сейсмограммы ОСТ до, после отбраковки приемников по углу наклона и после восстановления.





▲ Рис. 6. Схема распределения ПП для супер-сейсмограммы ОСТ до (слева) и после (справа) отбраковки по углу наклона.

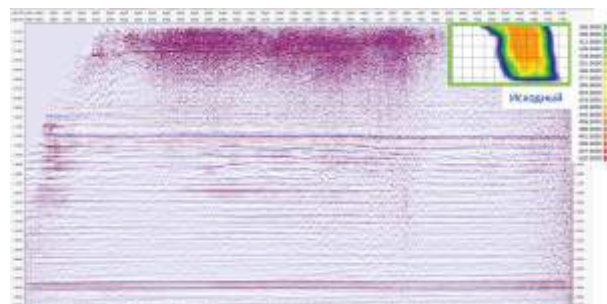
неработающих каналов в линии ПП, и более 2% неработающих каналов в расстановке. За последнее время в арсенале обработчиков появились алгоритмы 5D-регуляризации с защитой от пространственного наложения зеркальных частот. Такие алгоритмы позволяют восстанавливать данные в тех частях площади, где их не было изначально из-за пропусков, они были отбракованы или удалены в процессе обработки. Этот этап является базовым при обработке 3D данных. Поэтому потери даже трех-семи трасс подряд не являются для обработчиков чем-то невозможным. Ниже представлен пример теста, в котором сначала были отбракованы часть трасс из-за увеличения допусков по наклону сейсμοприемников, а затем восстановлена по средствам 5D-регуляризации. Пример сейсмограмм ОСТ до и после представлен на рисунке 5. Важно отметить, что отбраковка трасс имела не хаотичное распределение, а определенную систематику.

Для наглядности на рисунке 6 приведены схемы расположения ПП и ПВ для супер-сейсмограммы ОСТ, которые показывают, какие пары источников и приемников были исключены с помощью критерия угла наклона. На схеме после отбраковки видно, что теряются протяженные области пунктов приема, которые могут достигать до 12-16 ПП подряд (200м). На рисунках 7–9 представлены временные разрезы, фрагменты карт кратности и гистограммы её распределения. Даже при поверхностной оценке этих мате-

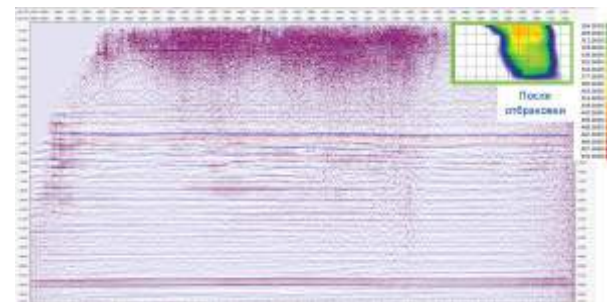
риалов можно видеть, что регуляризация успешно восстанавливает исходную информацию и потерянную кратность, снижение которой достигают почти 30%, при этом дополнительно обеспечивается ослабление случайной шумовой составляющей в процессе многомерных преобразований.

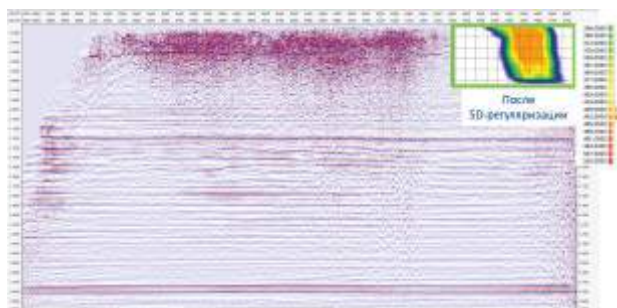
На основании данного теста можно сказать, что потери кратности свыше 10%, два подряд неработающих канала, либо

▼ Рис. 7. Временной разрез до отбраковки приемников по углу наклона, фрагмент карты кратности и гистограмма ее распределения.



▼ Рис. 8. Временной разрез после отбраковки приемников по углу наклона, фрагмент карты кратности и гистограмма ее распределения.



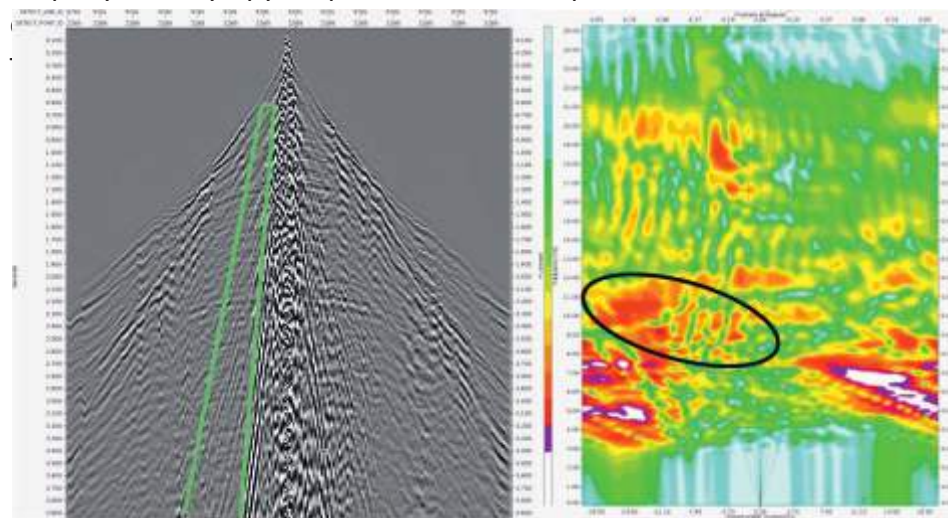


▲ Рис. 9. Временной разрез после восстановления отбракованных трасс, фрагмент карты кратности и гистограмма ее распределения.

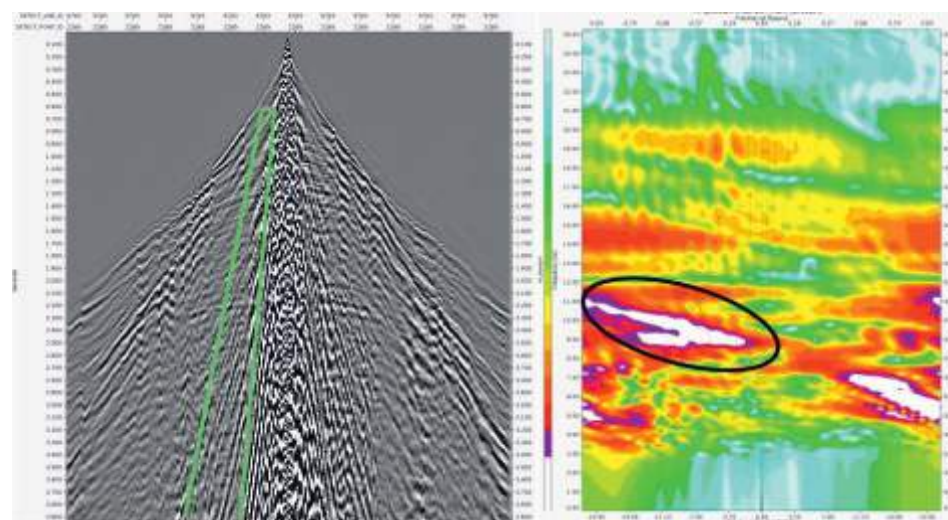
2–3% неработающих трасс — чрезмерные требования. Для современных алгоритмов регуляризации, некритичные потери кратности могут достигать 15–10 процентов. Безусловно, оптимальным вариантом было бы случайное распределение потерянных каналов, но это не достижимо.

Одним из последних пунктов хотелось бы затронуть тему группирования сейсмопри-

что многие геофизики проводили тесты, и каждый раз так или иначе этот тест показывал положительные результаты, т.к. регулярные волны-помехи ослаблялись в процессе группирования и результирующий материал имел высокие значения отношения сигнал/помеха. При переходе к 3D работам, группирование сейсмоприемников вдоль линии приема — грубая ошибка. Причина кроется в ориентации такой приемной антенны и появления у неё направленности, что обеспечивает успешное ослабление помехи только на ЛПП, которая находится ближе всего к ПВ. Но даже в этом случае возникает проблема, связанная с тем, что определенная расстановка приемников и их ориентация позволяет ослаблять только определенный диапазон частот поверхностной волны, т.к. будет эффективно справляться только с определенными длинами волн, а длина волны зависит от частоты и скорости. Дополнительная сложность,



◀ Рис. 10. Сейсмограмма ОПП и ее FK-спектр при группировании сейсмоприемников на базе 50 м.



◀ Рис. 10. Сейсмограмма ОПП и ее FK-спектр без группирования сейсмоприемников.

которая делает группирование неэффективным инструментом шумоподавления в полевых условиях, — латеральное изменение скоростей поверхностной волны и наличие зависимости скорости распространения волн от частоты, т.к. волна Рэлея является дисперсионной волной. Текущее состояние алгоритмов обработки позволяет успешно моделировать и адаптивно вычитать такие помехи, если их кинематические и динамические характеристики не были искажены группированием. На рисунке 10 приведен пример сейсмограммы ОПП и ее FK-спектр с использованием группирования сейсмоприемников на базе 50м. При сравнении с рисунком 11, где группирование отсутствовало, можно увидеть, что интенсивность поверхностной волны в выделенном полигоне существенно выше, когда группирование не использовалось. Это же можно наблюдать на FK-спектрах, где при группировании была ослаблена только часть поверхностной волны в частотном диапазоне 7–12 Гц. Единственный, который можно сделать из анализа рисунков 10 и 11: нужно регистрировать все помехи без искажений, и это позволит успешно бороться с ними на этапе углубленной обработки данных.

Выводы

Существует множество способов оценки качества исходных сейсмических данных таких как: RMS-амплитуды в различных окнах и их отношения, ширина амплитудно-частотного спектра и доминантная частота записи. Все эти оценки не могут однозначно сказать, какое качество будет у окончательного сейсмического материала после цикла камеральной обработки. Зачастую, все вышеописанные характеристики сейсмической записи отражают только погодные условия, либо сейсмогеологические особенности региона.

На основании представленных материалов можно уже сейчас однозначно утверждать, что настало время для пересмотра ряда требований, которые были сформулированы три десятилетия назад и не учитыва-

ли такого стремительного изменения отрасли, технологического прогресса и развития алгоритмической базы. Это должно коснуться только тех требований, которые являются серьезной помехой для внедрения и реализации новых технологий, а также являющимися необоснованными сдерживающими факторами при производстве сейсморазведочных работ, невыгодными как Заказчикам, так и Подрядчикам. Данные требования являлись попыткой формализации подхода оценки исходных сейсмических данных. На текущий момент времени имеются технологии быстрых электромагнитных источников в движении и слепые нодальные системы регистрации, которые могут позволять решать задачи СРР в кратчайшие сроки, с более высоким качеством окончательных материалов несмотря на то, что исходные данные обладают низким значением отношения сигнал/шум из-за особенностей технологий. Слепые регистрирующие системы не могут быть применены сейчас, либо не в полной мере раскрыть свой потенциал, т.к. требуется выполнить формальные оценки качества исходных сейсмических данных, а их получить невозможно до тех пор, пока не завершатся полевые работы. Следующий вопрос, который возникает: а нужны ли все эти бесконечные оценки, если известно, что данные с низким отношением сигнал/шум могут позволить получить более высокое качество на результирующих этапах камеральной обработки при высокой плотности трасс на квадратный километр. Это подводит нас к тому, что всем сервисным компаниям, которые занимаются СРР, необходимо отказаться от архаичных подходов в полевых методиках: настаивать на трансформации методик в сторону увеличения плотности ПП и ПВ с уменьшением количества воздействий на одном пикете до 1–2 накоплений и полный отказ от группирования приемников и источников, а также пересмотру требований и ЛНД к производству сейсморазведочных работ большинства нефтегазовых компаний.

Литература

1. Никола Телье и др. «Методика xDSS для достижения высочайшей производительности при вибросейсмических операциях», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2022.
2. Детков В.А., Баландин П.В., Копылов М.А., «Технология возбуждения упругих колебаний в движении Glide», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2020.
3. Кузнецов Е.С., Баландин П.В., Дробинский А.А., Череповский А.В. «Результаты анализа полевых данных OMP МОГТ-3D, Полученных по технологии возбуждения сигнала в движении GLIDE», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2021.
4. A. Ourabah, [2020] From nimble node to STRYDE — a brief history of a disruptive nodal technology. — Second HGS and EAGE Conference on Latin America, Dec 2020, Volume 2020, p.1–5
5. О.О. Адамович, П.С. Бекешко, С.Е. Жуков, Я.В. Лаптев, И.Л. Альмендингер, А.В. Ермолаев. Высокоэффективные съемки GLIDE как потенциальный инструмент повышения качества сейсмических изображений и ускорения цикла ГРП. Тезисы конференции ПроГРРесс 2021
6. П.С. Бекешко, С.Е. Жуков, Я.В. Лаптев, И.Л. Альмендингер, А.В. Ермолаев, Е.С. Кузнецов, П.В. Баландин, А.А. Дробинский, А.В. Череповский. Результаты обработки сейморазведочных данных 3D полученных по технологии GLIDE на одном из участков Восточной Сибири. Тезисы конференции Геомодель 2021.

Подробнее об авторе



Бекешко
Павел Станиславович

Главный геофизик,
Служба главного
геофизика, ООО
"ГЕОПРАЙМ"
Руководитель НТЦ,
ПАО "ГЕОТЕК
Сейсморазведка»