

Вопросы обработки сейсмических данных на ежегодной конференции геофизиков-разведчиков в Денвере, октябрь 2014 г.

■ Шнеерсон М.Б., ООО «ГСД», г. Москва

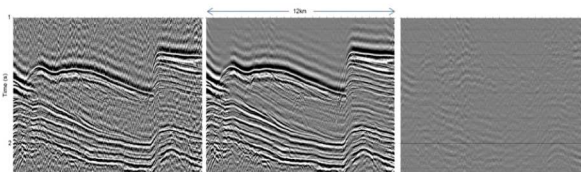
Развитие и совершенствование способов обработки сейсмических данных является одним из актуальных направлений современной сейсморазведки. Ему было посвящено значительное число докладов, которые рассматривались на четырех секциях: подавление помех (40 докладов), миграция (72 доклада), кратные волны (24 доклада) и интерполяция и регуляризация (16 докладов). Из приведенного перечня следует, что наиболее актуальными вопросами обработки являются подавление помех и миграция – преобразование временных данных в глубинные, и это естественно, т.к. они коррелируются со все возрастающими требованиями к точности и достоверности изучения и прогноза геологического строения и состава разведываемых объектов. В порядке знакомства с материалами конференции, которые могут представлять интерес для российских геофизиков, приведено краткое изложение некоторых докладов по каждому из направлений.

1. Подавление помех

1.1 Морская сейсморазведка.

В докладе «Характеристика и подавление многокомпонентных помех буксируемых кос» (Multicomponent streamer noise characteristics and denoising, S. Sanchis, T. Elboth) приведены материалы по характеристике помех, возникающих при буксировании кос, и их подавлению. Показано, что вертикальная и поперечная компоненты ускорения доминируют на низких частотах и они обусловлены вибрацией кос при их буксировании. Для их подавления авторы предложили обобщенный алгоритм для «очистки» вертикальной и поперечной компонент

ускорения волнового поля на низких частотах, основанный на использовании данных гидрофонов. Результат применения алгоритма приведен на рис.1



▲ Рис. 1. Az входной суммарный разрез (слева), выходной суммарный разрез (в середине) и оценка погрешности (справа).

В докладе «Подавление помех при съемках с буксируемыми косами» (Signal-protected noise for multimeasurement towed-streamer data, S. Rentsch, S. Bodyakin, L.P. Espezuа и др.) предложен способ подавления низкочастотных (до 30 Гц) помех, основанный на том, что некоторые из них, будучи когерентными в пространстве общего пункта возбуждения, теряют это свойство в других пространствах (общие пункты приема, выносов и др.). Это позволяет применять интерференционные способы их подавления после перевода записей из одного пространства в другое. В докладе приведены краткое обоснование способа и результаты его достаточно успешного применения на сейсмических материалах, полученных в Северном и Баренцевом морях.

Доклад «Подавление взаимных помех, как необходимая компонента одновременных съемок: пример по материалам Мексиканского залива» (SI attenuation as part of simultaneous source acquisition: GOM field data exercise, R.H. Vaardman, J. Kinkead, R. Loyd, R.G. van Borselen) посвящен разделению интерференционных записей, получаемых при одновременной работе нескольких

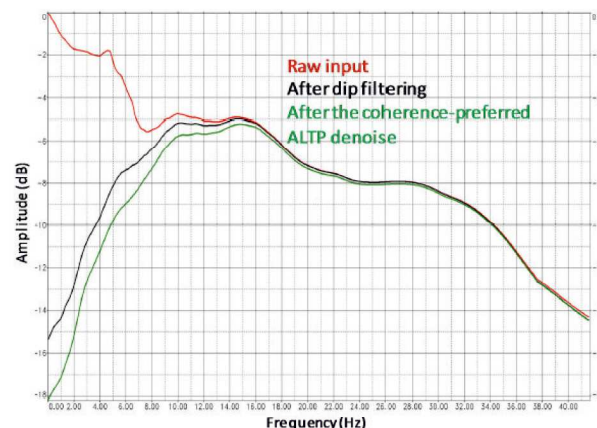
морских сейсмических партий на небольших удалениях друг от друга. Предложенный алгоритм основан на последовательном выделении когерентных составляющих из суммарного волнового поля по известным временам и координатам заданных источников и приемников колебаний. На материалах полноазимутальной съемки с несколькими судами показана работоспособность алгоритма и возможность получения качественных индивидуальных записей.

Доклад «Подавление помех буксирования на основе когерентно-предсказываемого Tau-P преобразования» (Attenuation of turn noise in marine towed-streamer data with the coherence-preferred anti-leakage Tau-P transform, C. Peng) посвящен подавлению низкочастотных помех, возникающих при буксировании кос в морской сейсморазведке. Практика обработки показывает, что очень часто первоначально профильтрованные записи осложнены достаточно интенсивными некогерентными помехами. Для их подавления предложен итерационный алгоритм, предусматривающий последовательное суммирование записей по различным наклонам с оценкой мощности результатов сложения. Процесс заканчивается, когда мера когерентности становится ниже заданного предела. На рисунке 2 приведены результаты применения фильтра.

В докладе «Оптимальное подавление нестационарных помех на записях с буксируемыми косами» (Optimal deghosting robust to nonstationary noise from multimeasurement streamer data, Y.I. Kamil, P. Caprioli) представлен способ подавления помех, основанный на определении их спектров и вычислении по ним оптимальных весовых коэффициентов для суммирования записей.

1.2 Наземная сейсморазведка.

В докладе «Оценка и разделение поверхностных волн в сейсморазведке



▲ Рис. 2. Спектры волн до (красная кривая) и после фильтраций

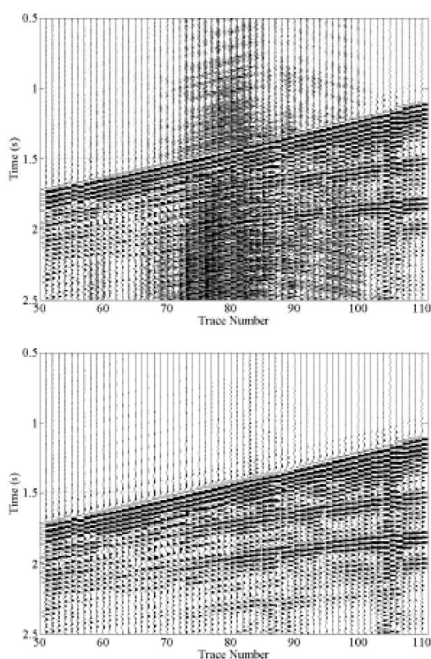
3D: использование кругового подхода» (3D Surface-wave estimation and separation: using a closed-loop approach, T. Ishiyama, G. Blacquiere, E. Verschuur) рассмотрен алгоритм анализа поверхностных волн, основанный на моделировании волнового поля, нахождении разницы между ним и наблюдаемым полем, оценке модельных параметров и их последовательном уточнении на основе приближения к входным данным.

В докладе «Подавление до суммирования высокочастотных поверхностных волн путем применения 3D многооконного KL фильтра: применение к предыдущим съемкам в Mississippi Lime», (Prestack suppression of high frequency ground roll using a 3D multiwindow KL filter: application to a legacy Mississippi Lime survey, S. Verma, S. Guo, K.J. Marfurt) обсуждается последовательность обработки сейсмических материалов по подавлению высокочастотных поверхностных волн, которая предусматривала:

- выделение по средним скоростям волн зоны развития поверхностных помех;
- применение фильтра низких частот с $f < 50$ Гц для удаления сигналов на частотах больших 50 Гц;
- линейная фильтрация колебаний для выделения поверхностных волн со скоростью 5000 фут/с;

- применение структурно-ориентированной KL фильтрации для выделения отраженных волн.

В докладе «Эффективный способ удаления гармонических искажений с прокоррелированных вибросейсмических записей» (An effective denoising method for removing harmonic distortion in correlated vibroseis data, S. Qu, H. Zhou, H. Zhang, J. Yuan, M. Qin) предложен один из возможных способов удаления гармонических составляющих с прокоррелированных вибросейсмических записей, возникающих при последовательном возбуждении колебаний с интервалами времени, меньшими длительности управляющего сигнала. Способ предусматривает разделение излучаемых колебаний на основную и гармонические компоненты, расчет обратно-корреляционного фильтра и его применение к исходным записям, последующую корреляционную обработку результатов с учетом частотного диапазона гармоник, что позволяет выделить гармоники, а затем их удалить. Приведены положительные результаты тестирования способа на модельных и полевых материалах



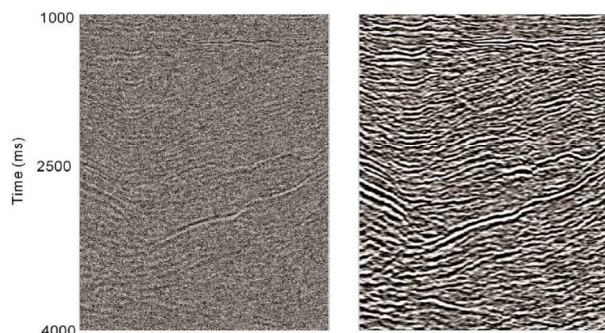
▲ Рис. 3. Сейсмограмма до устранения гармонических помех (вверху) и после (внизу)

(рис. 3). Авторы отмечают эффективность и простоту предлагаемого способа обработки вибросейсмических данных.

Доклад «Подавление рассеянных поверхностных волн и волн от неглубоко расположенных тел: направленная и нелинейная фильтрация» (Suppression of near-surface scattered body to surface waves steerable and non-linear filter approach, A.V. Almuheidib, M.N. Toksoz) ориентирован на подавление поверхностных и рассеянных от неглубоких объектов волн, интенсивность которых может быть существенно превышать уровень полезных колебаний. Предложенный алгоритм обработки основан на применении переменного по направлению фильтра, выделении помех и последующего их подавления нелинейным фильтром.

В докладе «Подавление случайных помех путем использования нормализованного конволюционного фильтра» (Random noise suppression using normalized convolution filter, F. Li, B. Zhang, K.J. Marfurt) предложен алгоритм подавления случайных помех, осложняющих выделение целевых объектов на сейсмических материалах. Он основан на оценке степени подобия записей в пределах определенного массива данных, что позволяет повысить отношение сигнал/помеха и улучшить прослеживаемость целевых горизонтов. Способ проиллюстрирован примерами, иллюстрирующими его эффективность. Пример подавления случайных помех приведен на рис.4.

Доклад «Ослабление случайных помех, используя локальное подобие записей» (Random noise attenuation using local similarity, Y. Chen, S. Fomel) содержит краткое теоретическое и экспериментальное обоснование предложенного авторами способа подавления случайных помех, предусматривающего подавление помех стандартными алгоритма-



▲ Рис. 4. Пример подавления случайных помех, слева – разрез с помехами, справа – после подавления помех.

ми и последующее применение оператора взвешивания для восстановления дополнительных компонент полезных сигналов. Затем первоначально очищенный от помех разрез комбинируется с восстановленным сигналом, образуя конечные свободные от помех записи. При этом оператор взвешивания определяется путем определения подобия между данными с помехами и без них. Предложенный подход основывается на предположении о том, что записи с помехами и без них ортогональны и характеризуются небольшой степенью подобия. Примеры обработки модельных и полевых материалов подтверждают обоснованность предложенного способа ослабления случайных помех.

В докладе «Разделение смешанных вибросейсмических данных» (Separation of simultaneous vibroseis data, S. Qu, H. Zhou, H. Chen, S. Zu, L. Zhi, S. Key) рассмотрено два способа разделения смешанных вибросейсмических записей, предварительно обработанных деконволюционным фильтром. Один из них предусматривает итеративный способ разделения волновых полей от каждого вибратора, а другой – инверсию данных. Отмечены, их эффективность и возможность применения к различно кодированным по фазе сигналам.

2. Миграция.

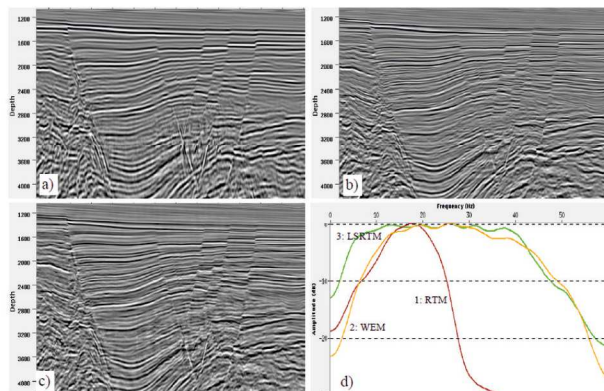
В докладе «Комбинированная частичная временная миграция и улучшение данных до суммирования: эффективный

способ освещения подсолевых отложений» (Combining partial time migration and prestack data enhancement: a useful tool for subsalt imaging, Y. Yang, C. Vanelle, D. Gajoewski) предложен способ улучшения прослеживания малоинтенсивных подсолевых отраженных волн путем частичной миграции исходных записей в пространстве общих рассеянных точек и последующего суммирования для получения изображений среды. Опробование способа на модельных материалах показало возможность получения качественных результатов, особенно по подсолевым горизонтам.

В докладе «Широкополосная временная миграция в обратном времени для изображения сложных структур» (Broadband least-squares time migration for complex structure imaging, C. Zeng, S. Dong, J. Mao, B. Wang) предложена последовательность процедур обработки морских сейсмических данных, позволяющая преодолеть частотную ограниченность обратной временной миграции. Она предусматривает освобождение записей от волн-спутников путем миграции по восходящим волнам с последующим применением частотно-ограниченной обратной временной миграции и очищением изображений для повышения уровня низко-частотных компонент, позволяющих более уверенно выделять и прослеживать сложные разведываемые объекты. На рис. 5 приведен пример, иллюстрирующий эффективность обратно-временной миграции.

В докладе «Лекции по обработке сейсмических данных с донным приемными системами» (Lessons from the deep-processing ocean bottom seismic data, E. Beal, E. Salo) на основании обобщения опыта обработки сейсмических материалов с донными приемными системами по 15 объектам сформулированы ее основные положения:

- разделение волн, распространяю-



▲ Рис. 5. Фрагменты временного разреза: *a* – исходный разрез, *b* – подавление помех на основе миграции по волновому уравнению, *c* – миграция по методу наименьших квадратов, *d* – спектры волн после обработки.

щихся вверх и вниз для подавления помех;

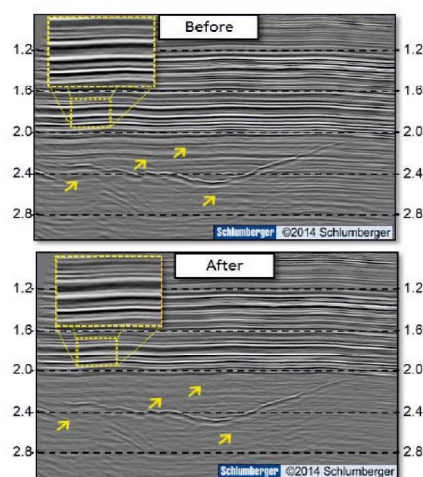
- устранение волн - спутников;
- расчет и введение статических поправок с учетом приливных явлений и изменения скоростей волн в воде;
- подавление кратных волн;
- построение скоростных моделей с учетом использования широко-азимутальных систем наблюдений и регистрации волн на больших выносах;
- построение изображений по волнам, распространяющихся вниз и вверх, что эффективно при разведке глубокозалегающих горизонтов;
- точное определение положения приемных донных моделей для повышения достоверности повторных съемок.

В докладе «Сравнение способов дифракционных изображений: нестационарная фазовая фильтрация и удаление верхушек отражений» (Comparison of seismic diffraction imaging techniques: anti-stationary phase filtering versus reflection apex removal, X. Li, Z. Li, J. Huang) приведено краткое описание двух вышеуказанных способов получения дифракционных изображений и на основании оценки результатов обработки материалов по Мексиканскому заливу предпочтение отдано способу, основанному на

нестационарной фазовой фильтрации, поскольку он позволил получить более четкое изображение объекта.

3. Кратные волны

В докладе «Последовательное подавление внутренних кратных волн путем обратных рассеянных серий: пример изучения по материалам западной Канады» (Cascaded internal multiple attenuation with inverse scattering series: western Canada case study, F.X. de Mela, M. Idris, Z.J. Wu, C. Koslov) показана возможность эффективного подавления внутренних кратных волн на основе предсказания их возможных реализаций и их адаптивного последовательного вычитания до получения желаемого результата. Приведены обоснование способа и результаты его применения на материалах по западной Канаде, рис. 6.



▲ Рис. 6. Разрезы до (верх) и после (низ) подавления кратных волн, стрелками показаны участки повышения качества данных.

В докладе «Прогноз плоских волн и их использование для последовательного вычитания кратных» (Adaptive multiple subtraction using plane-wave prediction, J. Yan, H. Liu) помимо прогнозирования плоских волн для подавления кратных образований предлагается использовать адаптивный фильтр для оценки подобия модельных, реальных и предсказанных трасс. Опробование способа на модельных и реальных материалах показало его эффективность.