

## РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ СМЕЖНЫХ СЪЕМОК

Курашов И. А., Бондарев В. И., Крылатков С. М.

В работе рассмотрены вопросы повышения качества сейсмических изображений при их построении на основе нескольких сейсмических съемок, выполненных с различными значениями параметров системы наблюдения. Предлагается способ повышения кратности суммирования и плотности изображения сейсмических трасс при такой обработке данных. Приведен пример применения такого способа для одной из площадей на территории Западной Сибири. Показана возможность регуляризации данных с повышением отношения сигнал/помеха, улучшением прослеживания целевых отражающих горизонтов и формированием единой координатной сети для сейсмических трасс, полученных в ходе разных съемок.

**Ключевые слова:** обработка данных; сейсмические изображения; отражающий горизонт; кратность суммирования; плотность трасс; отношение сигнал/помеха; интерполяция данных; объединение сейсмических съемок.

В последнее время при исследовании перспективных ловушек углеводородов в регионах, изучение которых сейсморазведочными работами выполняется довольно долго, часто возникает необходимость привлечения данных, полученных на той же или смежной территории ранее. При этом результаты сейсморазведочных работ, выполненных в разное время, могут значительно варьироваться из-за различий в используемых системах наблюдения (системы типа «крест», «кирпичная кладка» и др.) и значениях их параметров (кратность перекрытия, расстояние между линиями приема и возбуждения, интервалы между пунктами на них и пр.). Все это обуславливает объективную сложность слияния данных, полученных при использовании разных систем наблюдения. Необходимо приводить весь полученный набор сейсмических записей к единой координатной сети, выравнивать кратность суммирования и плотность изображения сейсмических трасс в области сочленения площадей, повышать отношение сигнал/помеха. Основным вариантом решения данной задачи в настоящее время является использование различных методов интерполяции сейсмических трасс. Новые синтетические трассы при этом получают на основе усреднения ряда параметров, таких как координаты точек возбуждения (ПВ) и приема сигнала (ПП), удаления источник-приемник, азимута такой пары и времени регистрации. Чаще всего выбирается совокупность пяти параметров, так, что остальные могут быть

вычислены на их основе. Например, время регистрации и координаты ПВ и ПП или координаты средней точки, а также азимут и удаление ПВ–ПП. Подобные способы регуляризации данных получили название *5D интерполяции* [1].

Вместе с тем очевидно, что интерполяция сейсмических трасс по своей сути является чисто математической операцией. Поэтому в ходе решения поставленной задачи представляется целесообразным рассматривать также процедуры, основанные на физических свойствах распространения сейсмических волн в геологической среде. В качестве таких процедур могут служить некоторые виды дифракционных преобразований, так как используемый в их основе подход делает правомочным отнесение наблюдаемой сейсмической трассы не только к средней точке между источником и приемником, но и к большой области равновероятных точек положения источников сигнала в ее окрестности. Ниже описываются теоретические основы и один из примеров применения такого подхода.

Предлагаемый в работе алгоритм обработки данных базируется на множественном пересчете наблюдаемых трасс каждой сейсмограммы общей точки возбуждения (ОТВ) на группы точек предварительно заданной сети расчетных бинов. Данный подход [2, 3] основан на том, что в случае изучения источников дифрагированных волн их положение по зарегистрированному сигналу не может быть определено однозначно. Тем не менее,

обычно наблюдаемую трассу относили к средней точке между источником и приемником, как к наиболее вероятному положению сейсмической неоднородности, а полученные в результате такого подхода смещения устраняли при помощи специальных миграционных процедур, поправок за угол наклона и пр. [4]. При этом на основе дифракционных преобразований [5] становится возможным уйти от этого исходного противоречия, переместив исходный сигнал на область вероятных положений его источника, которая представляет собой криволинейную поверхность. Такой процесс будет осуществляться последовательным многократным переносом сейсмических трасс на точки с заданными координатами, с одновременным вводом специальной кинематической поправки, определяемой геометрией (координата источника, приемника и текущей расчетной точки), временем регистрации и скоростной моделью среды. При постоянной скорости сейсмических волн в среде такая кинематическая поправка примет следующий вид:

$$\Delta t(x_D, y_D, t_0) = \sqrt{\frac{R_1^2}{V(t_0)^2} + \frac{1}{4}t_0^2} + \sqrt{\frac{R_2^2}{V(t_0)^2} + \frac{1}{4}t_0^2},$$

где  $R_1 = \sqrt{(x_D - x_{ПВ})^2 + (y_D - y_{ПВ})^2}$ ;  $R_2 = \sqrt{(x_{ПП} - x_D)^2 + (y_{ПП} - y_D)^2}$ ;  $x_{ПВ}, y_{ПВ}, x_{ПП}, y_{ПП}$ ;  $x_D, y_D$  – координаты на плоскости наблюдений соответственно пункта возбуждения, пункта приема и центра бина, в который трансформируется каждая наблюдаемая сейсмотрасса. Участок координатной сети, в центры бинов которого трансформируется одна и та же наблюдаемая трасса, получил в рамках описываемой технологии обработки данных название *большого бина* (ББ), а его характеристики – положение, размер и пр., по сути являются управляющими параметрами процедуры преобразования волнового поля и отражают физико-геологический смысл получаемого итогового изображения среды. В конечном счете, преобразование множества наблюдаемых трасс позволит для каждого из расчетных бинов создать значительную по объему совокупность новых сейсмических трасс, суммирование которых и позволит получить итоговое сейсмическое изображение геологического разреза. Результатом такой обработки

данных становится многократное увеличение плотности сейсмотрасс на единицу площади.

Одним из главных преимуществ предлагаемого способа построения изображений является возможность повышения кратности суммирования сейсмических трасс при формировании итоговых разрезов, а также густоты их построения. В данном аспекте можно провести аналогию с методом Multifocusing [6], где также появляется подобная возможность за счет использования при построении изображений наблюдаемых трасс в окрестности средней точки. Пересчет исходных трасс сейсмограмм ОТВ на область большого бина позволяет увеличивать кратность суммирования, что дает возможность получать изображения, несущие в себе новую информацию для геологической и геофизической интерпретации сейсмических материалов. В конечном счете, кратность суммирования сейсмических трасс для профильных работ может быть увеличена на порядок, а в случае площадных наблюдений – и на два порядка, по сравнению с кратностью перекрытия, определяемой технологией полевых работ. При этом важно отметить, что размер элементарной расчетной ячейки площади – бина – не будет оказывать влияния на значение получаемой кратности суммирования итогового изображения, а значит появляется возможность уменьшать его размер, для того чтобы получать более детальные по горизонтали сейсмические изображения геологической среды. С помощью такого подхода к обработке данных также могут быть решены многочисленные технические проблемы сейсмических съемок, связанные с их стыковкой, «пробелами» на карте кратности или низким качеством полевых материалов.

Вообще, для понимания принципа работы описываемого способа важно понимать, что используемый размер большого бина прямо пропорционально влияет на количество суммируемых сейсмических трасс, получаемых для каждой из точек изображения. Поэтому в дальнейшем сам параметр кратности суммирования будет рассматриваться не сам по себе, а через призму размера ББ. Так, при системе наблюдения с расстоянием между средними точками, по профилю равным 25 м, и ББ размером 250 м мы получаем увеличение кратности суммирования в 10 раз на каждой

из суммотрасс итогового изображения по сравнению с кратностью перекрытия. Необходимо понимать, что данные понятия кратности связаны между собой, но далеко не тождественны, так как фундаментально отличаются наличием или отсутствием полного набора независимых физических наблюдений в своей основе.

Опробование метода на синтетических данных показало, что даже использование относительно небольшого ББ размером 300 м позволяет, в дополнение к вышесказанному, почти полностью устранить эффект сейсмического сноса для отражающих границ с небольшими углами наклона (до 20–25°), т. е. частичного миграционного эффекта, который может быть получен с малыми базами пересчета (размерами ББ), достаточного для восстановления истинного положения объектов на сейсмическом разрезе. Естественно, что при наличии в разрезе крутонаклоненных отражающих границ для их правильного изображения на геологическом разрезе

необходимо включать в граф обработки один из вариантов стандартных процедур миграционных преобразований, способных адекватно работать при наличии больших углов наклона. Другой важный вывод, который был сделан после апробации способа на математических моделях, заключается в том, что при использовании типичной системы наблюдений и частоты сигнала в рамках метода не представляется возможным разделение объектов, расположенных на малых расстояниях друг от друга по горизонтали. Потому, даже обладая возможностью размещать точки изображения по произвольно густой сети, используемый ниже интервал построения итоговых трасс (10 м) является предельным значением бинирования сейсмического профиля для стандартных систем наблюдения, за исключением современных высокоплотных, высокочастотных сейсмических съемок [7], где возможность увеличения густоты сети расчетных точек может быть использована

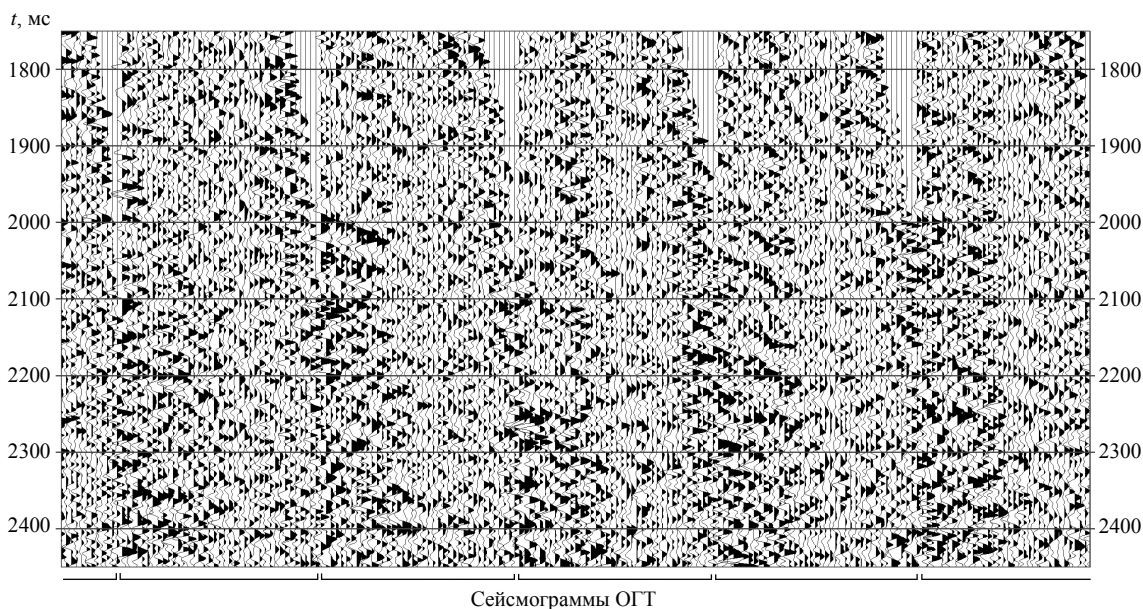


Рис. 1. Вид сейсмограмм ОГТ, полностью подготовленных для ввода кинематических поправок и суммирования

для меньших значений размера элементарной ячейки формируемого изображения.

Реализация полученных алгоритмов рассмотрена на примере построения объединенного сейсмического изображения на одной из перспективных площадей Западной Сибири. В данном случае возникла необходимость объединения двух сейсмических съемок,

выполненных в разные годы с кратностями перекрытия 40 и 24. Оба набора данных характеризуются довольно низким отношением сигнал/помеха. Цель обработки – повышение качества изображения нижнемеловых и верхнеюрских отложений для повышения эффективности геофизической интерпретации материалов. На рис. 1 показан характерный вид



сейсмограмм общей глубинной точки (ОГТ), полностью подготовленных для ввода кинематических поправок и суммирования. Видно, что годографы отраженных волн на записях плохо прослеживаются, в том числе и для целевых горизонтов. Такое низкое отношение сигнал/помеха обуславливает необходимость использовать дополнительные технические средства обработки данных, которые позволили бы повысить качество итогового сейсмического изображения, по сравнению с результатами традиционного суммирования симметричных выборок источник-приемник для каждой из средних точек.

Представленный набор сейсмограмм был обработан по описанной технологии с применением большого бина с диаметром от 50 до 500 м. Его центр был привязан к средней точке между источником и приемником. Такое положение наиболее близко к традиционной обработке и позволяет ориентироваться, главным образом, на зеркально-отраженные волны и субгоризонтальные отражающие объекты в геологической среде, их породившие. Несложно показать, что при сведении диаметра большого бина до половины расстояния между пунктами приема сейсмической съемки мы получим в итоге результат,

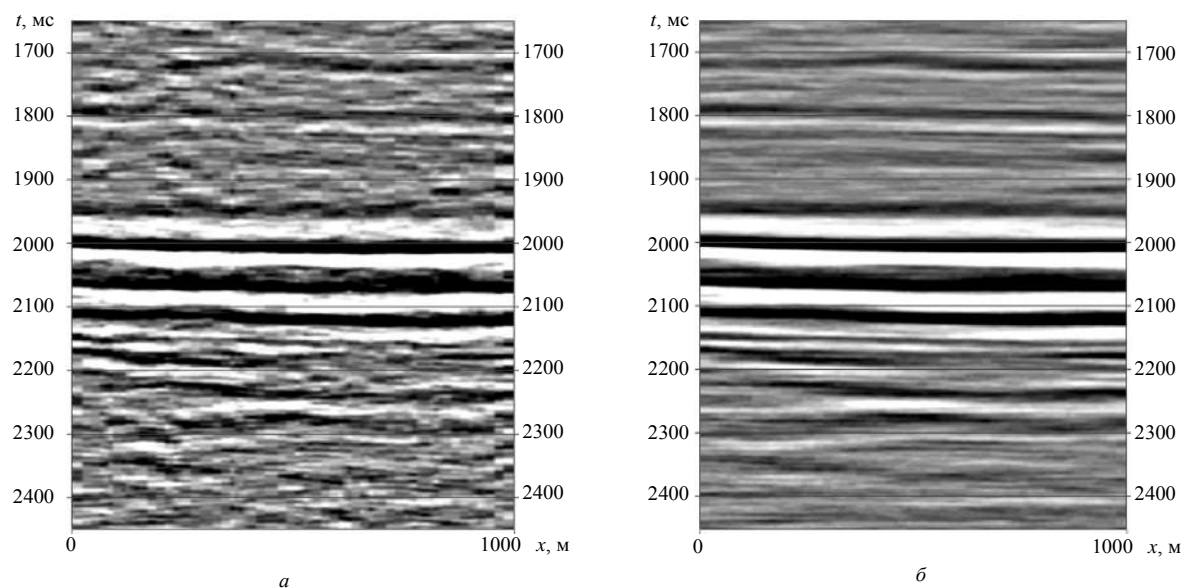


Рис. 2. Фрагмент временного разреза ОГТ в области соединения данных разных сейсмических съемок: *a* – полученный путем стандартной обработки; *б* – результат обработки по описанному способу с применением большого бина с центром в средней точке и диаметром 300 м

эквивалентный стандартной технологии обработки в методе ОГТ. Следует отметить, что другие типы волн, например, дифрагированные от крупных дизъюнктивных нарушений в геологической среде, также будут прослеживаться на записи, но при этом они будут в значительной степени маскироваться более интенсивными волнами от регулярных отражений. Дополнительно, в ходе процедуры построения итогового разреза, точки изображения геологической среды, расположенные изначально на трех линейных группах точек ОГТ, были трансформированы в одну равномерную линейную группу с шагом в 10 м. После преобразования исходных данных итоговая кратность суммирования трасс для

различных частей полученных разрезов различается уже не так значительно, как для разреза ОГТ. Так, например, средняя кратность суммирования составляет 200 для большого бина размером 300 м. Фрагмент полученного разреза приведен выше на рис. 2 в сравнении с изображением, полученным по традиционной технологии суммирования сейсмических трасс, где кратность суммирования варьируется от 24 до 40, то есть строго в пределах кратности перекрытия полевых наблюдений. Оба изображения получены по идентичному графу обработки и с одинаковой моделью распределения скоростей в среде, за исключением способа ввода кинематических поправок и суммирования трасс, которые во втором

случае были изменены в сторону получения изображений по технологии большого бина.

В целом, применительно к данной ситуации, использование технологии большого бина при обработке примерно соответствует использованию миграционных преобразований до суммирования – миграции Кирхгофа с ограниченной апертурой или миграции в области первой зоны Френеля [8]. Общим фактором является довольно сильный эффект пространственной фильтрации, что проявляется в некотором сглаживании итоговых изображений по латерали. Тот же результат может быть получен и в ходе интерполяции данных. Исследования показали, что для построения отражающих горизонтов в данном интервале времен оптимальный размер большого бина – 200-300 м. Такая область пересчета уже позволяет существенно повысить кратность суммирования трасс для каждой из точек изображения, а, следовательно, повысить отношение сигнал/помеха. Вместе с тем она не оказывает сильного негативного влияния на степень информативности итогового сейсмического разреза по горизонтали. В то же время, возможность произвольного расположения точек изображения среды на площади наблюдений, не привязанная к симметричным выборкам источник-приемник [9], позволяет сформировать сейсмический

разрез по специально заданной расчетной сети, то есть произвести бинирование с заданной плотностью, практически отсоединив данный параметр от значения параметров используемой в ходе полевых работ системы наблюдения.

В результате обработки материалов по предложенному способу была получена группа новых временных разрезов, использование которых, наряду с традиционными изображениями ОГТ, позволит повысить общую информативность сейсмических материалов. При использовании описанного способа удалось значительно снизить уровень шума на итоговых записях за счет существенного повышения кратности суммирования, повысить качество прослеживания основных отражающих границ, а также сформировать единую линию регулярно расположенных по профилю точек изображения. Таким образом, можно сделать вывод о том, что предлагаемый способ анализа данных может служить еще одним полезным инструментом при обработке сейсмических материалов, полученных по методу многократных перекрытий, осложненных низким качеством исходных материалов и/или необходимостью формирования сейсмических изображений геологического разреза по неоднородной совокупности данных, приуроченных к разным полевым наблюдениям.

*Приведенные в статье исследования выполнены в рамках НИР «Исследование структуры сейсмических волновых полей и установление ее взаимосвязи со свойствами изучаемой геологической среды» (№ 01201156174), проводимых по заданию и при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 5D interpolation to improve AVO and AVAz: a quantitative case history / J. Downton [et al.] // Canadian journal of exploration geophysics. 2012. Vol. 37, no. 1. pp. 8–17.
2. Бондарев В. И., Крылатков С. М., Курашов И. А. Анализ сейсмических волновых полей в задачах сейсморазведки // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 3. С. 146–153.
3. Бондарев В. И., Крылатков С. М., Курашов И. А. Технология обработки сейсмических данных на основе анализа дифракционной составляющей волнового поля // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. URL: [www.science-education.ru/101-5605](http://www.science-education.ru/101-5605) (дата обращения: 18.02.2014).
4. Козлов Е. А. Модели среды в разведочной сейсмологии. Тверь: Изд-во ГЕРС, 2006. 480 с.
5. Тимошин Ю. В. Основы дифракционного преобразования сейсмических записей. М.: Недра, 1972. 264 с.
6. Gelchinsky V. Multifocusing homeomorphic imaging. Part 1. Basic concepts and formulas / V. Gelchinsky, A. Berkovitch, S. Keydar // Journal of applied geophysics. 1999. Vol. 42, no. 3–4. pp. 229–242.
7. Череповский А. В. Сейсморазведка с одиночными приемниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съемок / А. В. Череповский. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2012. 134 с.
8. Buske, S., Gutjahr S., Sick C. Fresnel volume migration of single-component seismic data // Geophysics. 2009. Vol. 74, no. 66. pp. WCA47–WCA55.
9. Landa E. Beyond conventional seismic imaging. EAGE Publications bv, 2007. 94 p.

Поступила в редакцию 18 февраля 2014 г.

**Курашов Иван Александрович** – инженер кафедры геофизики нефти и газа. 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: [ivan.kurashov@m.ursmu.ru](mailto:ivan.kurashov@m.ursmu.ru)

**Бондарев Владимир Иванович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики нефти и газа. 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: [vladimir.bondarev@m.ursmu.ru](mailto:vladimir.bondarev@m.ursmu.ru)

**Крылатков Сергей Михайлович**, кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры геофизики нефти и газа. 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: [sergey.krylatkov@m.ursmu.ru](mailto:sergey.krylatkov@m.ursmu.ru)