

## **O1 ПОДАВЛЕНИЕ КРАТНЫХ: НОВЫЙ МЕТОД**

Масюков А.В., Шленкин В.И., Масюков В.В.

(ООО «Славнефть - НПЦ»)

## **MULTIPLE ELIMINATION: A NEW TECHNIQUE**

Masjukov A.V., Shlyonkin V.I., Masjukov V.V.

(*Geophysical Center, Slavneft Oil and Gas Company Ltd.*)

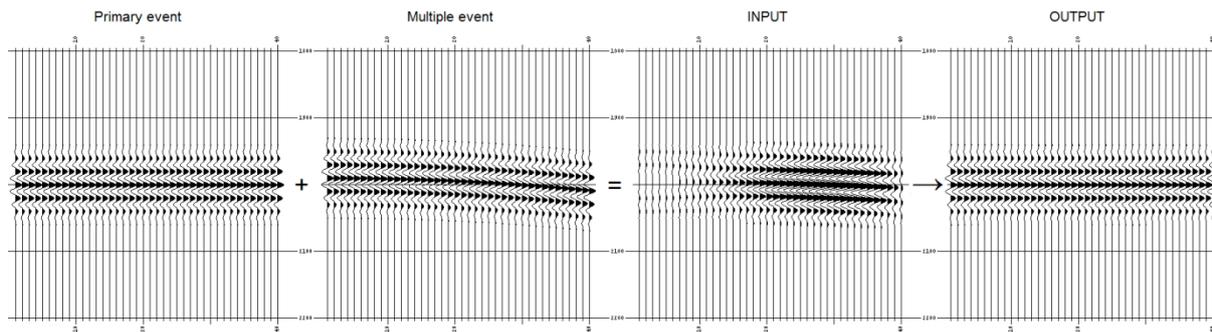
**Аннотация.** Вместо обращения параболического преобразования Радона предлагается новый итерационный нелинейный алгоритм кинематического разделения волн. Показаны результаты метода на синтетических и реальных данных.

**Abstract.** Instead of the parabolic Radon transform inversion we propose a new method for multiple suppression. Synthetic and real-data examples verify advantages of the developed AI technique.

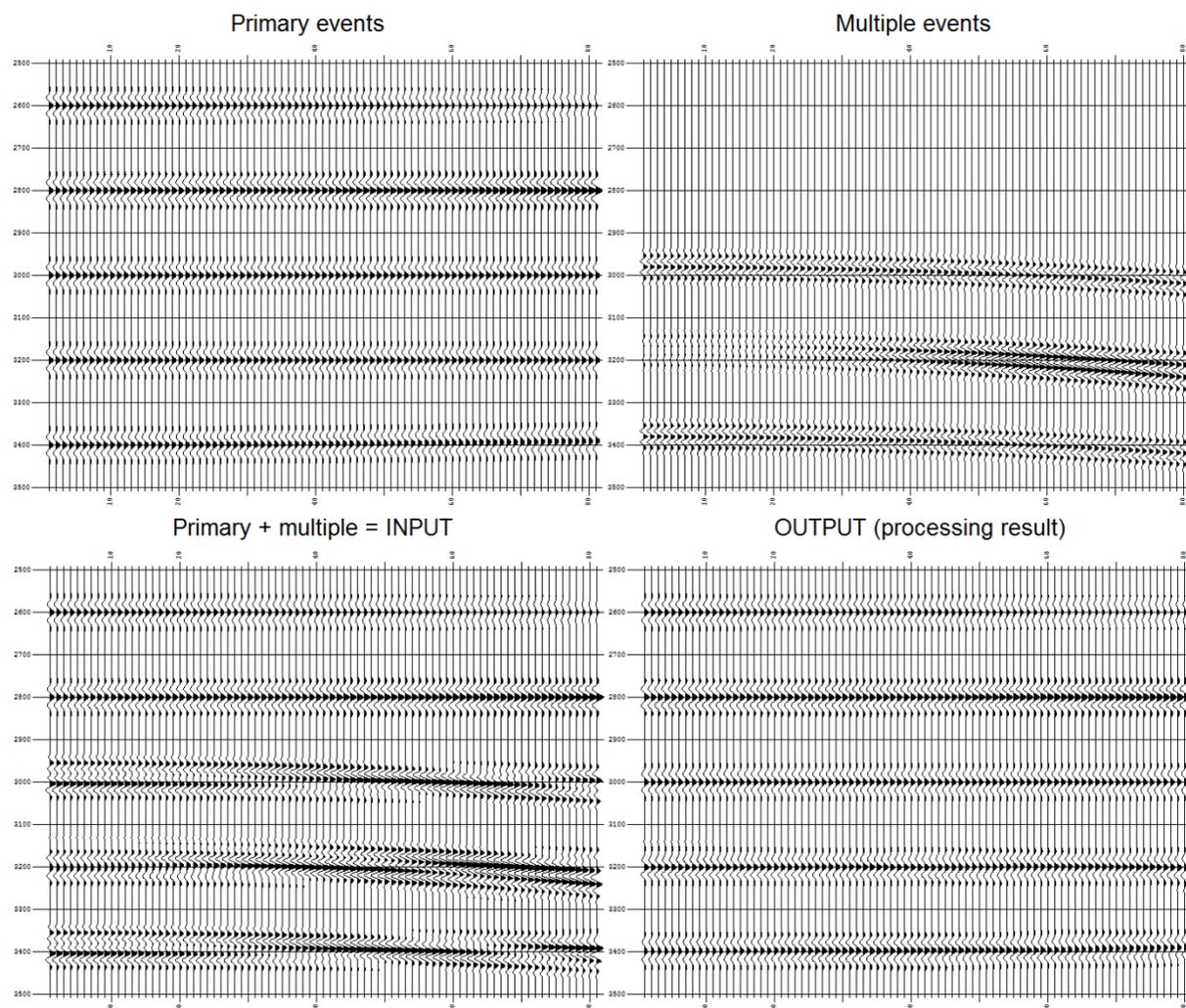
**Введение.** Преобразования Радона – это формальные разложения данных, но не разложения данных на реальные события. Для подавления кратных волн часто используется параболическое преобразование Радона: полученный с помощью этого преобразования образ сейсмограммы обнуляется в области, соответствующей кинематике кратных волн, затем выполняется обратное преобразование. В результате получают данные, состоящие только из волн, кинематика которых попадает в веер пропускания, поэтому результирующие сейсмограммы выглядят весьма привлекательно. Однако кратные волны, как и все остальные помехи, внесли свой вклад в веер пропускания, и в результате обработки превратились в сигналы с правильной кинематикой. Чем ниже отношение сигнал-шум, тем больше искажений вносит подавление кратных с помощью параболического Радона. Эти искажения нередко становятся очевидны на стеке. Мы поставили перед собой задачу создания алгоритма (искусственного интеллекта), который вычитал бы реальные кратные волны, не искажая сигналы другой природы. Математически проблема заключается в том, что базисные функции не ортогональны (они еще и линейно зависимы, образуют фрейм).

**Метод.** Единственный смысловой (геофизический) параметр метода – это разделительная кинематика (задаваемая на выбранном удалении). На рис. 1 и 2 показана работа программы на синтетических данных. На рис. 2 отражения на 2600 мс и 2800 мс не интерферируют с кратными, но их амплитуды зависят от удаления. В результате обработки модельный эффект AVO сохраняется (не идеально точно, конечно). Отражение на 3200 мс интерферирует с двумя кинематически различными кратными (рис. 2 справа вверху), отражение на 3400 мс содержит остаточную кинематику. Во всех случаях происходит качественное восстановление

МОДЕЛЬНОГО СИГНАЛА.



*Рис.1* Модельные сейсмограммы (слева направо): сигнала, кратной волны, их суммы (входные данные), результата обработки.



*Рис.2* Модельные сейсмограммы полезного сигнала, кратных волн, их суммы (входные данные), результата (восстановление сигнала).

В настоящее время метод реализован как автономная программа (для ОС Linux) обработки SEG-Y файлов. Время обработки несущественно превышает время простого копирования входного файла, если пользователь разрешает программе использовать несколько десятков процессоров. При этом новый поток параллельных вычислений

порождается, если вычисления отстают от дисковых операций (и еще не достигнуто заданное предельное число потоков).

В преобразовании Радона число кинематик (парабол) не может превышать число удалений (иначе обращение не единственно). В нашем методе можно задать шаг перебора кинематик равным, например, одному дискрету на максимальном удалении, даже при широком веере подавления.

Равномерность (или неравномерность) удалений не играет никакой роли в предложенном методе.

Метод вычитает обнаруженные кинематически кратные волны, при этом амплитуды вычитаемых волн предполагаются не зависящими от удаления вдоль соответствующей кинематики (параболы) кратной волны.

**Упрощенная формализация.** Пусть  $g_l(t)$  – сейсмическая трасса от времени  $t$  на удалении  $l$ . Пусть  $\mu_l(t) = 0$  в области мьютинга, иначе  $\mu_l(t) = 1$ . (Индикатор  $\mu_l(t)$  может быть вычислен автоматически, возможен внутренний мьютинг, связанный с конусом помех.) В цикле, который повторяется заданное число раз (скажем, три раза) выполняются следующие вычисления.

$$(1) \quad p(t) = \sum_l g_l(t) \mu_l(t) / \sum_l \mu_l(t),$$

$$(2) \quad \tilde{g}_l(t) = g_l(t) - p(t),$$

$$(3) \quad s_j(t) = \sum_l \tilde{g}_l(t + al^2j) \mu_l(t + al^2j) / \sum_l \mu_l(t + al^2j), \quad j \in J,$$

где числом  $a$  и набором  $J$  задается веер подавления. Далее вычисляем

$$(4) \quad e_j(t) = A * s_j^2(t),$$

где  $A$  – оператор усреднения по времени на видимом периоде (применяется как рекурсивный симметричный фильтр). Затем вычисляется индикатор  $\theta_j(t)$  такой, что  $\theta_j(t) = 1$  если  $e_j(t) \geq e_k(t)$  при всех  $k \in J$  и  $j$  не принадлежит границе  $J$ , иначе  $\theta_j(t) = 0$ . Далее

$$(5) \quad \tilde{\theta}_j(t) = A * \theta_j(t),$$

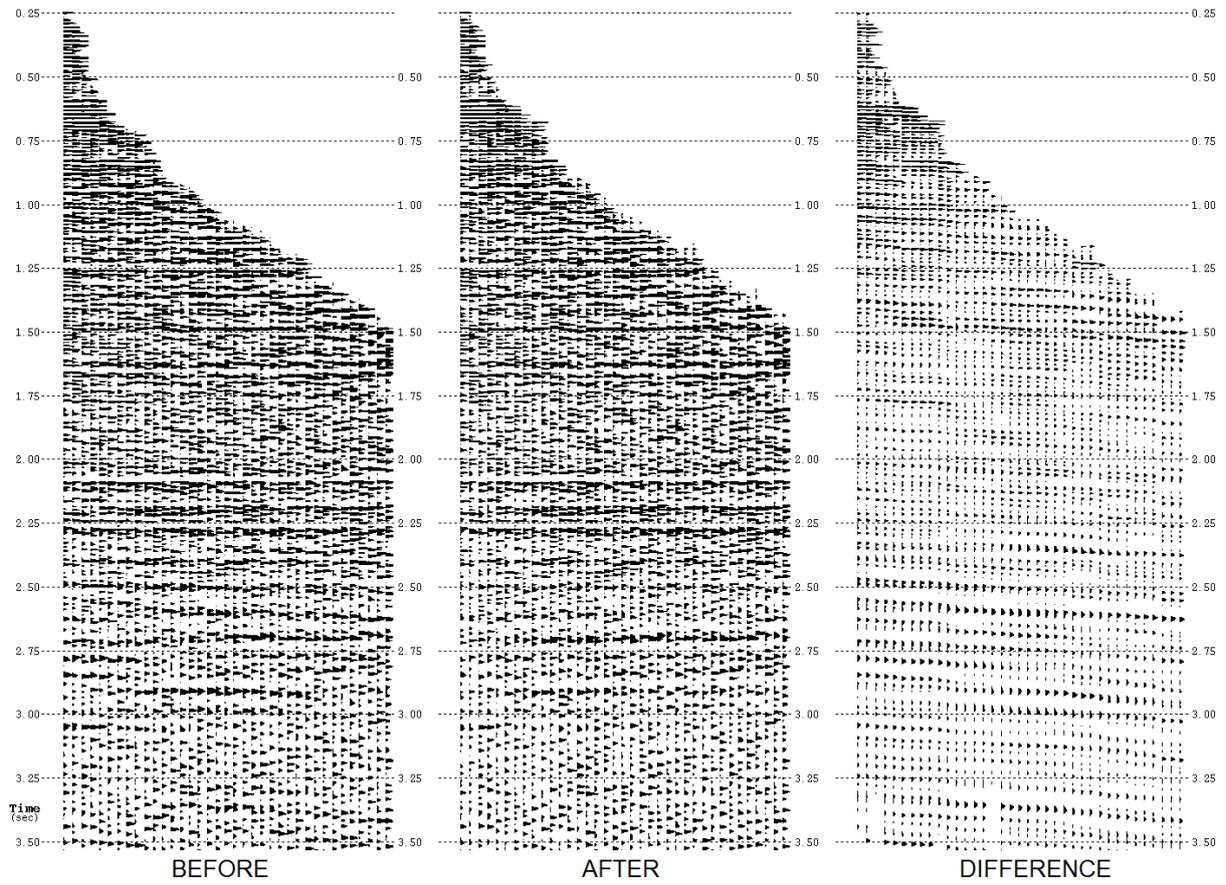
$$(6) \quad \tilde{s}_j(t) = s_j(t) \tilde{\theta}_j(t),$$

$$(7) \quad g_l(t) \leftarrow g_l(t) - \mu_l(t) \sum_j \tilde{s}_j(t - al^2j).$$

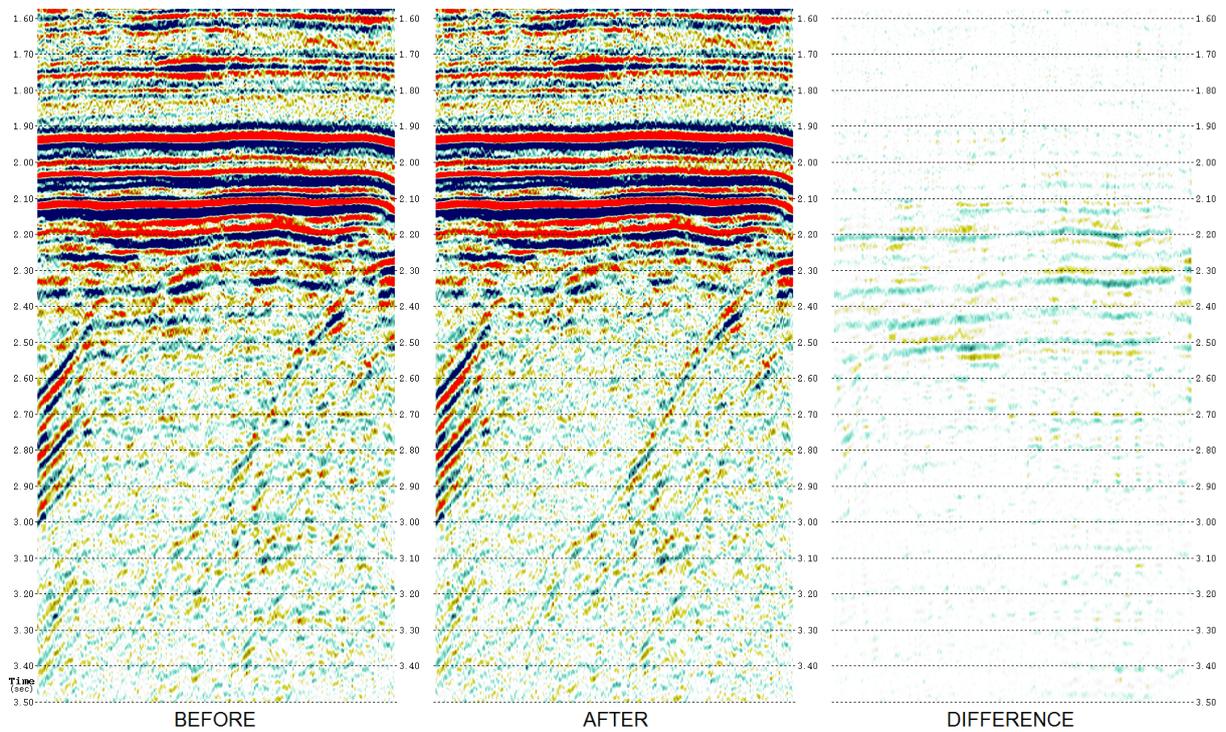
По завершении цикла  $g_l(t)$  – выходная сейсмограмма, очищенная от кратных волн.

Представленный алгоритм обнаруживает реальные волны в заданном веере подавления и вычитает их, почти не искажая полезные сигналы (и помехи другой природы). При этом решается задача искусственного интеллекта разложения по фрейму.

**Пример.** На рис. 3 и 4 показана работа алгоритма на реальных данных. Обратите внимание, что на сейсмограмме не происходит регуляризации, наоборот, вычитаемая помеха достаточно регулярна (когерентна). Также можно заметить, что предложенный метод является помехоустойчивым. В этих двух практических аспектах он отличается от параболического Радона, и может иметь свою область применения.



*Рис.3 Сейсмограмма ОСТ до и после обработки. Разность (вычтенные кратные) показана в том же усилении.*



*Рис.4 Фрагмент вертикального сечения до и после обработки, разность показана в той же палитре.*