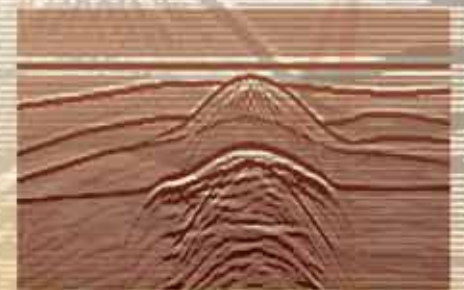


# Эффективное подавление кратных волн-помех в сейсморазведке с использованием вычислений на суперкомпьютерах



## 8 Эффективное подавление кратных волн-помех в сейсморазведке с использованием вычислений на суперкомпьютерах

При обработке сейсмических данных в процессе поисков и разведки месторождений нефти и газа на морском шельфе важнейшей задачей является ослабление кратных волн-помех, затрудняющих интерпретацию полезных отражений. Одним из наиболее эффективных алгоритмов подавления кратных волн, связанных с переломлением от дневной поверхности, является SRME (Surface Related Multiple Elimination, подавление кратных волн от дневной поверхности). Применение данного метода для обработки площадных (3D) сейсмических данных требует использования самых мощных вычислительных систем. Предложен эффективный алгоритм 3D SRME и его программная реализация, обеспечивающая высокую масштабируемость вычислений на суперкомпьютерах с тысячами вычислительных узлов. При практическом применении программы удалось в сжатые сроки ослабить кратные волны на сейсмических данных, полученных в разных районах мира.

В последние годы основной объем сейсморазведочных работ для поисков месторождений нефти и газа выполняется в районах со сложными сейсмогеологическими условиями. Это предъявляет высокие требования к качеству полевых наблюдений и к совершенствованию графа обработки данных. Как правило, в таких условиях необходимо применять самые совершенные обрабатывающие алгоритмы, которые требуют использования значительных вычислительных ресурсов вплоть до суперкомпьютеров. В случае работы с данными, полученными на морском шельфе, основную трудность представляет ослабление регулярных помех, вызванных многократными отражениями от жестких глубинных границ и дневной поверхности – кратных волн. Такие помехи затрудняют или делают полностью невозможными дальнейшую обработку и геолого-геофизическую интерпретацию результатов сейсмических наблюдений. На рис. 1 приведены примеры лучевых схем образования кратных волн. На рис. 2 на модельном примере показано, как кратные волны мешают обнаружению полезных отражений. На рис. 2(а) показана глубинно-скоростная модель среды, в которой проведен

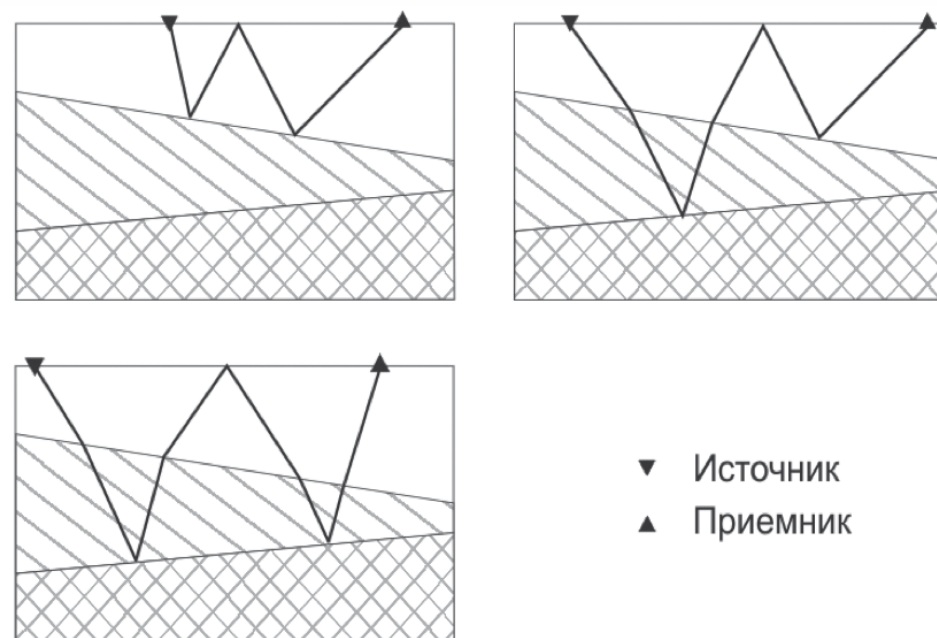


Рис. 1. Схемы образования кратных волн

### АВТОРЫ:

**Е.А. Курин** – генеральный директор, ООО «ГЕОЛАБ»,  
e-mail: ekurin@geo-lab.ru

**М.С. Денисов** – докт. физ.-мат. наук, директор по исследованиям и разработкам, ООО «ГЕОЛАБ»,  
e-mail: ekurin@geo-lab.ru

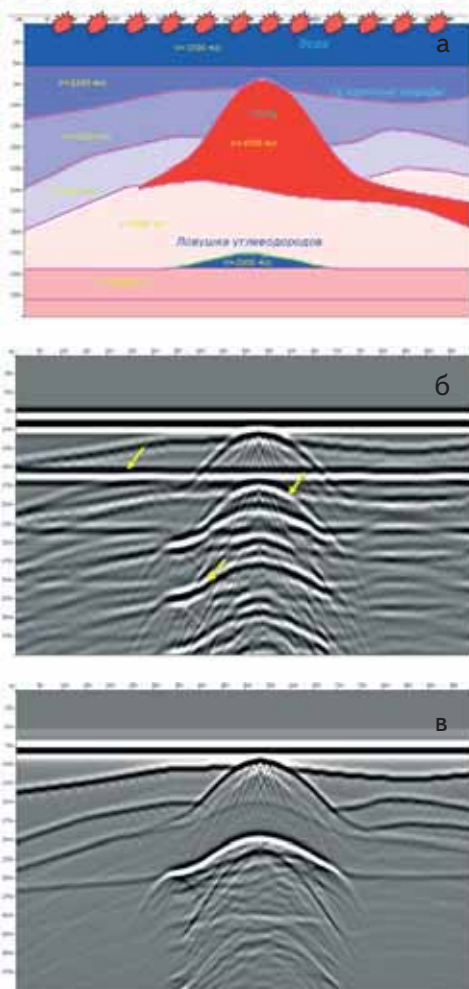


Рис. 2. а – модель среды, б – модельный сейсмический разрез (результат численного эксперимента), в – модельный сейсмический разрез после подавления кратных волн

численный эксперимент. На рис. 2(б) показан результат эксперимента — сейсмический разрез, где градации серого цвета отвечают за величину давления, зарегистрированного приемниками. Видно, что волновое поле имеет гораздо более сложную структуру, чем исходная модель, в первую очередь, из-за наличия кратных волн, показанных желтыми стрелками. И наконец, на рис.2(в) изображен сейсмический разрез, где кратные волны подавлены, и видны полезные волны, соответствующие однократным отражениям от глубинных границ. Становится понятно, почему решению данной проблемы уделяется столь пристальное внимание со стороны нефтесервисных компаний. Свои «фирменные» способы подавления кратных волн есть у всех крупных геофизических подрядчиков, таких как CGGVeritas (Франция — США), Petroleum Geo Services (Норвегия), WesternGeco (США).

К применявшимся ранее методам, основанным на различии каких-либо свойств однократных и кратных отражений (периодичность — предсказывающая деконволюция, различия в кинематике — скоростные фильтры), в настоящее время добавились мощные двухшаговые методы, где на первом этапе производится прогнозирование поля помех, а на втором — его адап-

тивное вычитание из исходного поля. Одним из наиболее эффективных методов является SRME, предложенный голландскими учеными из Дельфтского университета (Беркаут, Фершур), где для построения оператора продолжения поля ис-

пользуются только сами данные. В работе [1] приводится подробный теоретический анализ данного метода, даны необходимые ссылки на литературу.

Метод SRME требует, чтобы была обеспечена достаточная плотность исходных сейсмических данных. Это обычно достигается при профильных (2D) наблюдениях. Особенностью всех современных схем площадных (3D) наблюдений является то, что, как правило, имеются достаточно «плотные» сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ), но не удается осуществить подборку записей (трасс) сейсмограмм общего пункта приема (ОПП). Для решения этой проблемы предлагались различные методы «восстановления» отсутствующих трасс. В работе [2] был предложен метод, который состоит в поиске трассы, источник и приемник которой находятся на наименьшем расстоянии от «источника» и «приемника» отсутствующей трассы, а затем в применении разностных кинематических поправок с учетом изменения направления «источник-приемник» (азимута). Причем все вычисления производятся «на лету», что не требует предварительной интерполяции исходного набора данных, размер которого может достигать десятков терабайт.

Основной проблемой на пути к эффективной реализации данного алгоритма на суперкомпьютерах с распределенной памятью являлась необходимость произвольного доступа к данным, размер которых иногда превышает размер доступной оперативной памяти всех вычислительных узлов. Однако анализ шаблона доступа к трассам на диске показывает, что одна и та же трасса может быть использована несколько, иногда десятки, раз. На основании этого факта был предложен метод [3], состоящий в предварительном определении наборов {источник, приемник, промежуточная точка}, в которые вносит вклад та или иная трасса. Затем производится сортировка полученных таблиц с ключом — номером трассы. После чего на каждом вычислительном узле организуется квазипоследовательный доступ к трассам и соответствующие вычисления, т.е. применяется потоковая модель доступа к исходным данным. Уникальность метода состоит в том, что он позволяет эффективно организовывать вычисления на суперкомпьютерах с различными характеристиками, в том числе на имеющих бездисковые вычислительные узлы. В качестве источника данных может служить кластерная файловая система (например, PanFS, Lustre, GPFS) или, при отсутствии таковой — распределенный массив, в который предварительно загружены исходные данные.

Следует отметить, что перед запуском вычислений требуется в интерактивном режиме провести работу по определению кинематических параметров отраженных волн. Это необходимо для реконструкции отсутствующих сейсми-

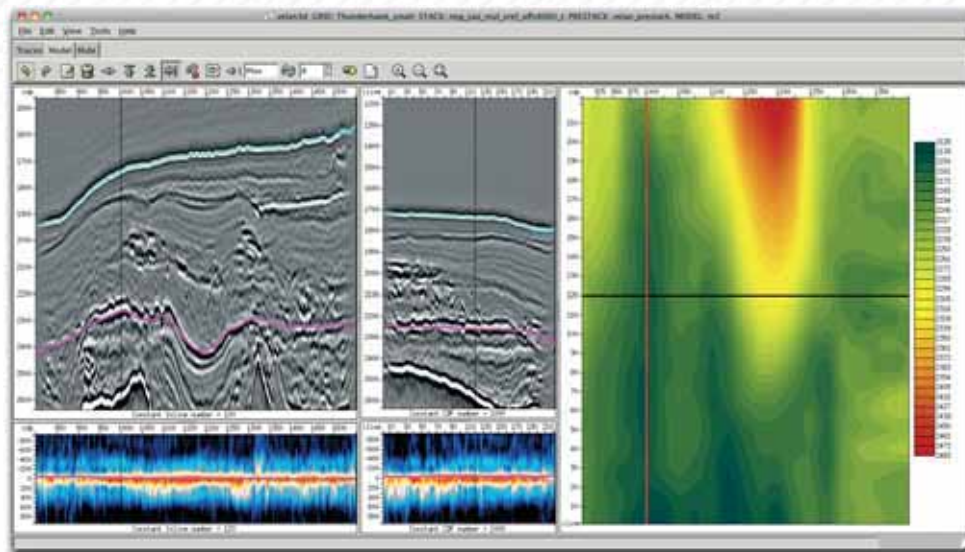


Рис. 3.  
Интерактивное определение кинематических параметров волн в пакете GEOLAB

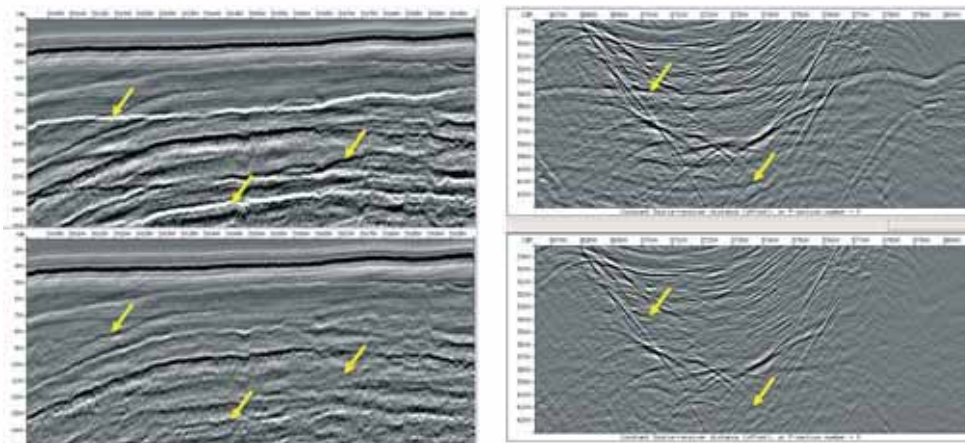


Рис. 4.  
Пример подавления кратных волн для морских сейсмических данных

Рис. 5.  
Пример подавления кратных волн для морских сейсмических данных (Мексиканский залив, США)

ческих трасс. На рис. 3 показано окно соответствующего инструмента, входящего в состав программного пакета GEOLAB.

Испытания программы, проведенные на суперкомпьютере «Ломоносов», установленном в МГУ имени М.В. Ломоносова, показали, что проблема ввода-вывода была успешно решена, и примерно 90 процентов процессорного времени занимают вычисления. При этом было одновременно задействовано до 1500 вычислительных узлов или 12 000 процессорных ядер. В настоящее время ведутся работы по адаптации программы для эффективного использования гибридных вычислительных систем с ускорителями на базе графических процессоров.

Работа программы была опробована на данных из различных регионов мира: Черного, Каспийского, Баренцева, Северного морей, Мексиканского залива. Приведем лишь два примера. На рис. 4 показано применение алгоритма для реальных морских сейсмических данных, осложненных кратными волнами как от морского дна, так и от глубинных высококонтрастных границ. Сверху приведен фрагмент исходного разреза равных удалений «источник-приемник» 200 м. Стрелками указаны некоторые кратные волны. Снизу — соответствующий фрагмент после применения метода 3D SRME. Видно, что фон кратных волн-помех значительно ослаблен, и интерпретация полезных однократных отражений не затруднена. Следующий пример (см. рис. 5) — результат обработки данных из района Мексиканского залива (США). Сверху показан фрагмент исходного разреза нулевых удалений, снизу — тот же разрез после подавления кратных волн, на котором более четко можно проследить целевые горизонты в зоне примыкания слоев осадочных пород к соляным куполам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов М.С., Анализ метода прогнозирования кратных волн без знания модели среды с позиций теории продолжения волновых полей: Геофизика, 2006. – 1. – С. 5–20.
2. Денисов М.С., Курин Е.А, Способы прогнозирования кратных волн по данным площадных морских наблюдений // Технологии сейсморазведки, 2007. – 2. – С. 73–78.
3. Курин Е.А, Музыченко Е.Л., Исследование производительности кластерных систем хранения данных в задачах обработки данных сейсморазведки // Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: эксафлопсное будущее», 2011.