

# Обнаружение пласта через подавление кратных волн 3D

## Revealing the reservoir through 3D multiple attenuation



Стивен Макхуго, Брюс Вэбб, Татьяна Гречишникова и Ричард Уайтбрэд, компания WesternGeco  
Stephen McHugo, Bruce Webb, Tatiana Grechishnikova and Richard Whitebread, WesternGeco

### Общая информация

Сложный рельеф дна часто встречается во многих глубоководных месторождениях во всем мире и приводит к возникновению сложных режимов многократных сейсмоволн, которые плохо подавляются с помощью алгоритмов подавления кратных волн 2D. В этой статье мы обсудим некоторые основные принципы помимо технологии подавления поверхностно-связанных кратных волн (SRME) и продемонстрируем их воздействие на данные, полученные на Туапсинском месторождении в Черном море. Конкретно, мы обсудим наш новый подход к подавлению кратных волн 3D и продемонстрируем его применение при подавлении сложных кратных волн в ходе съемок 3D, где присутствовал сложный рельеф морского дна. Преимущество нашего нового метода заключается в том, что он компенсирует неравномерную дискретизацию в ходе съемки, поэтому нет необходимости обрабатывать и улучшать вводимые данные, чтобы выполнить строгие требования идеальной системы 3D SRME.

### Многократные отражения. Что они собой представляют и почему нужны алгоритмы 3D для подавления кратных волн?

Поверхностно-связанные кратные волны образуются в сейсмических данных за счет повторения и инверсии однократного волнового поля от резкой отражающей границы. Существует много режимов кратных сейсмоволн, которые возникают в процессе использования морской буксируемой косы для проведения съемки, из которых наиболее преобладающие формируются в водяной толще, и мы ограничим наше обсуждение именно этими волнами. Для этих донных кратных волн генераторами являются границы между воздухом/водой и водой/морским дном.

### Summary

Complex waterbottom topography is common in many deepwater fields around the world and gives rise to complex multiple regimes that are poorly attenuated by 2D multiple attenuation algorithms. In this article we will discuss some of the basic principles behind the surface related multiple elimination (SRME) technique and demonstrate its effect on data acquired at Tuapse field in the Black Sea. Specifically we discuss our new approach to 3D multiple attenuation and demonstrate its use to attenuate complex multiples from 3D surveys with complex waterbottom geometry. An advantage of our new method is that it compensates for irregular sampling in acquisition so that the input data does not have to be manipulated and preconditioned to meet the stringent requirements of ideal 3D SRME.

### Multiple reflections, what are they and why do we need 3D algorithms for multiple attenuation?

Surface related multiples are generated on seismic data through the primary wavefield being replicated and reversed at a strong reflecting interface. There are many multiple regimes set up during towed marine streamer acquisition, the most dominant of which are usually formed in the water column and we will limit our discussion to these. For these water bottom multiples the generators are the interfaces between the air/water and water/seabed.

Surface related multiple elimination (SRME) is acknowledged to be the most powerful data driven method of predicting and attenuating multiples from seismic data and is performed in two phases. The first phase involves creating a multiple model for each target trace, the second phase involves adaptively subtracting the multiple model from the input data, using filters derived using a least-squares approach. The basic principle of the technique is that multiple reflections can be constructed from a number

Подавление поверхностно-связанных кратных волн (SRME) считается наиболее эффективным методом, который управляется данными по прогнозированию и подавлению кратных волн в массивах сейсмических данных, и он осуществляется в два этапа. Первый этап включает в себя создание модели кратных волн для каждой задаваемой трассы, а второй этап представляет собой адаптивное вычитание модели кратных волн из вводимых данных с помощью фильтров, использующих среднеквадратичный метод. Основным принципом данной технологии является то, что кратные отражения могут быть сконструированы из ряда однократных отражений свернутых вместе, а записанные сейсмические данные содержат всю необходимую информацию для оценки (или прогнозирования) кратных волн. Данная концепция проиллюстрирована на Рис. 1.

- » Траектория кратной волны, зарегистрированная между источником S и приемником R, показана зеленым.
- » Сейсмический луч покидает источник возбуждения в точке S, и отражается от границы однократных волн в точке A.
- » Луч передается на поверхность, где он ударяется о границу раздела воздуха/воды в точке B.
- » Луч затем отражается вниз на морское дно, где он отражается обратно в точке C и получается приемником в точке R.

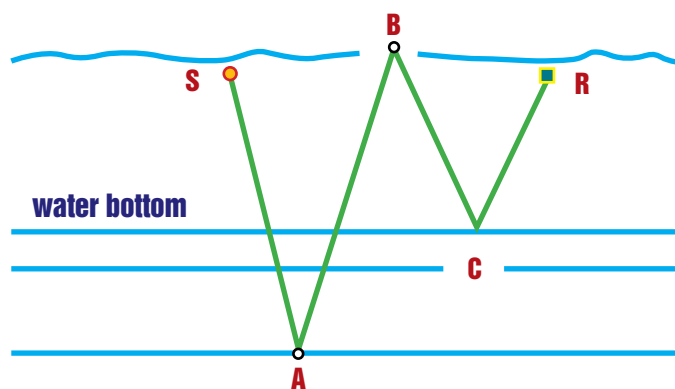
Можно рассматривать, что кратный сейсмический луч состоит из двух однократных путей пробега; SB и BR. Точка B называется нисходящая точка отражения (DRP). Для рассмотрения модели кратных волн с помощью SRME в данном простом примере нам нужен источник возбуждения и приемник в положении B таким образом, чтобы имелись два компонента траектории волны (восходящий и нисходящий). Свернутые трассы SB и BR дают оценку кратной волны для этой заданной трассы.

Чтобы спрогнозировать кратные волны с помощью данного метода нам надо получать данные от ПВ и ПП, находящихся в совмещенных местах – это невозможно в условиях морской съемки из-за эффективности и по практическим соображениям. Для варианта 2D при использовании метода SRME данная совмещенность ПВ и ПП может быть достигнута в ходе обработки за счет интерполяции. Кроме того, при использовании метода необходимо записывать отражение от морского дна и иметь данные в варианте для центрального луча. Поэтому, чтобы выполнить это требование экстраполяция для центрального луча выполняется до прогнозирования кратных волн. На практике, в отношении любой заданной трассы мы не знаем, какие трассы необходимо свертывать для образования кратных форм, поэтому свертываются все трассы и

of primary reflections convolved together, and the recorded seismic data contains all the required information to estimate (or predict) the multiples. This concept is illustrated in Figure 1.

- » The multiple ray path recorded between source S and receiver R is shown in green.
- » The seismic ray leaves the shot at point S, is reflected from a primary reflector at point A.
- » The ray is transmitted to surface where it strikes the air-water interface at point B.
- » The ray is then reflected downward to the seabed where it is reflected back at point C and finally received by receiver at point R.

The multiple ray can be considered to be composed of two primary paths; SB and BR. Point B is known as the downward reflection point (DRP). To calculate the multiple model for this simple example using SRME we need a source and receiver at position B so that the two components of the raypath (upcoming and downgoing) are present. Convolution traces SB and BR give an estimate of the multiple for this target trace.



**Рис 1** Схема, показывающая части траектории, которую проделывает кратная волна первого порядка (с разрешения Билла Драгосета компания WesternGeco)

**Figure 1** Diagram showing component parts of path taken by first order multiple courtesy of Bill Dragoset WesternGeco

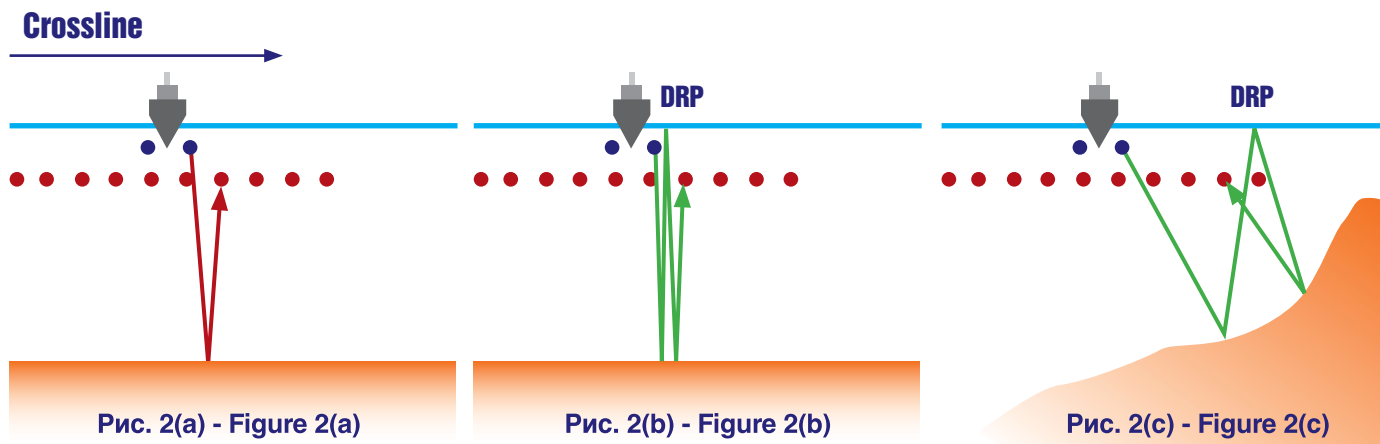
In order to predict the multiples using this method we need to acquire shots and receivers at coincident locations – this is not possible in the marine environment due to efficiency and operational reasons. For 2D implementation of SRME this harmonisation of the shots and receivers can be achieved during processing through interpolation. In addition the method requires that the waterbottom reflection be recorded and available at zero offset. Extrapolation to zero offset is therefore performed prior to multiple prediction to achieve this requirement. In practice, for any target trace, we do not know which traces need to be convolved to form the multiple so all traces are convolved and the multiple model is formed by stacking the convolved traces. For the 3D implementation of

модель кратных волн создается за счет суммирования свернутых трасс. Для варианта 3D, при использовании метода SRME ситуация еще более усложняется, так как кратные волны генерируются с траекторией луча 3D которая может падать в любом месте пространственной апертуры, которая определяется геологическими условиями, поэтому реконструкция трасс намного сложнее. Более подробно это изложено в статье Moore and Dragoset, 2008 г.

Если геологическое строение морского дна простое, то кратные волны, отраженные от дна, находятся в плоскости по направлению к линии судна и могут быть спрогнозированы и подавлены, используя схемы подавления кратных волн 2D, для которых только требуется информация от одинарных подводных профилей. Однако, если дно сложное по рельефу либо падает в направлении перпендикулярно линиям приема, то кратные волны будут падать за пределами плоскости получения данных в направлении линии судна и могут быть только спрогнозированы с помощью методики 3D. Это проиллюстрировано на схеме Рис. 2;

**Рис. 2(a)** показывает вид спереди съемки с применением 10 буксируемых кос и показывает относительное положение сейсмоисточников и датчиков. Однократное отражение от дна показано красной линией.

**Рис 2(b)** показывает траекторию луча кратной волны первого порядка, отраженной от плоского дна, и она



показана зеленым цветом; траектория кратной волны грубо повторяет ту же плоскость, как и направление к линии судна, и может быть рассчитана на основе данных 2D.

**Рис 2(c)** показывает, что происходит с кратной волной в случае если морское дно сложное и круто падает. Нисходящая точка отражения (DRP) кратной волны первого порядка находится вне плоскости линии по направлению к судну, и для точного прогнозирования необходима информация с других донных кос и с

SRME, however, the situation is more complex because the multiples are generated with 3D raypaths that can fall anywhere within a spatial aperture which is dictated by the geology, hence reconstructing traces is much more difficult. For further details please see Moore and Dragoset 2008.

When the seabed geology is simple the waterbottom multiples lie within the plane of the sail line direction and can be predicted and attenuated through 2D multiple attenuation schemes, which only require information from single subsurface lines. However if the waterbottom is complex or dips in the crossline direction, the multiples will fall outside the plane of the acquisition sail line direction and can only be predicted using a 3D approach. This is illustrated by the schematics in Figure 2;

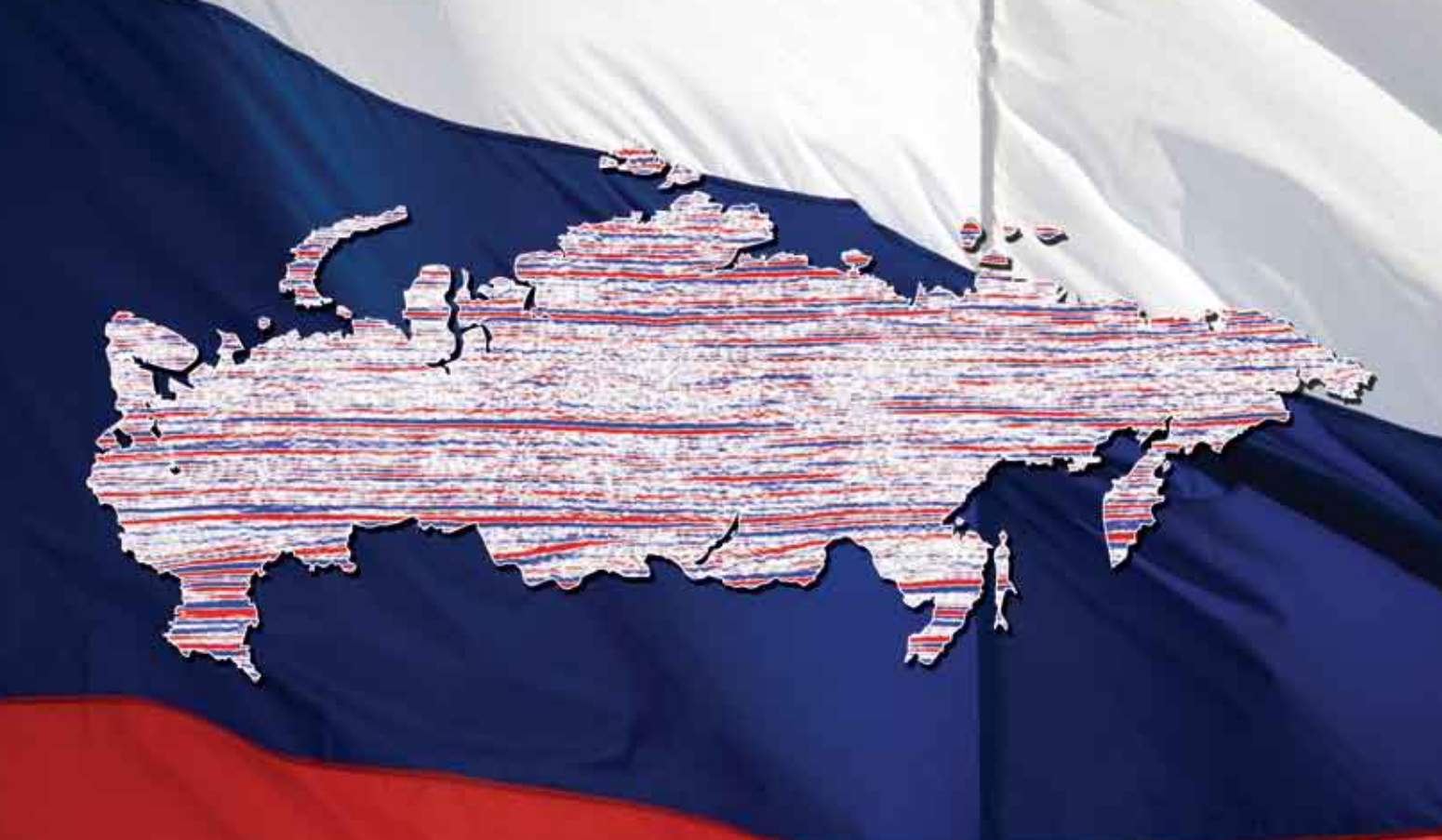
**Figure 2(a)** shows front view of a 10 streamer seismic survey showing relative positions of the seismic sources and detectors. The primary reflection from the waterbottom is shown by the ray drawn in red.

**Figure 2(b)** shows the raypath of the first order multiple from the flat waterbottom, shown in green, the multiple ray path is in roughly the same plane as the sail line direction and can be estimated from 2D data.

**Figure 2(c)** shows what happens to the multiple in the presence of a complex steeply dipping waterbottom. The downward reflection point (DRP) of the first order multiple lies outside the plane of the sailline direction and for accurate prediction requires information from other cables and adjacent swathes in order to accurately predict the multiple.

**Figure 2** Schematics showing 2D and 3D multiple raypaths, panel (a) primary raypath shown in red, panel (b) 2D multiple raypath, panel (c) 3D multiple raypath. The position of the downward reflection point (DRP) for the multiple is annotated. Diagrams courtesy of David Hill, WesternGeco

WesternGeco's new multiple prediction method, '3D General Surface Multiple Prediction' (3D GSMP), enables a high quality 3D multiple prediction for surveys acquired in areas of complex geology and with irregular acquisition



# WesternGeco

## Обработка сейсмических данных в России

### ИСПОЛЬЗУЙТЕ ГЕОФИЗИКУ БОЛЕЕ ШИРОКО С ЛИДЕРОМ ОТРАСЛИ

Компания WesternGeco обладает наиболее совершенным и мощным центром обработки сейсмических данных в России. Мы имеем многолетний опыт обработки сейсмических данных, полученных в ходе наземных съемок в различных регионах России, а также данных морских исследований в Баренцевом, Охотском, Чукотском, Черном, и Каспийском морях.

Обратитесь к нам, чтобы воспользоваться нашим:

- **Качеством** — включая использование многочисленных уникальных алгоритмов и технологий обработки
- **Опытом** — включая ресурсы компаний Schlumberger и WesternGeco по всему миру
- **Гибким подходом** — включая удаленные и внутренние центры обработки данных для Вашего удобства



Тел.: +7 (495) 935 82 00  
Email: [wgdp-moscow@slb.com](mailto:wgdp-moscow@slb.com)

[www.slb.com/westerngeco](http://www.slb.com/westerngeco)



сопредельных блоков, чтобы точно спрогнозировать кратную волну.

Схематические изображения Рис. 2, показывающие траектории кратных лучей 2D и 3D, ряд (a) траектория однократной волны показана красным, ряд (b) траектория кратной волны 2D, ряд (c) траектория кратной волны 3D. Положение нисходящей точки отражения (DRP) для кратной волны снабжено примечаниями. Схемы представлены с разрешения Дэвида Хилла, компания WesternGeco

Новый метод прогнозирования компании WesternGeco, который называется 'общий метод прогнозирования кратных поверхностных волн 3D' (3D GSMP), позволяет осуществлять высококачественное прогнозирование кратных волн 3D в отношении съемок, проводившихся в районах со сложными геологическими условиями и нерегулярной системой наблюдений. Важной особенностью данного метода является его способность прогнозировать кратные волны по истинному азимуту, с учетом истинной траектории луча через толщу воды. Чувствительность прогнозирования кратных волн от азимута и других факторов, относящихся к 3DSRME, обсуждены в работе Moore and Bisley (2005г.). В отличие от других реализаций метода 3D SRME, перед применением метода 3D GSMP не видятся требования regularизовать, экстраполировать на центральный луч, или интерполировать шаг дискретизации ПВ и ПП.

В действительности любые неровности дна могут вызывать (в большей или меньшей степени) кратные волны 3D. Например, кратные дифрагированные волны 3D могут генерироваться относительно небольшими локализованными аномалиями рельефа дна и продуцировать оси синфазности дифрагированной кратной волны в пространстве 3D, которое не может быть смоделировано в пространстве 2D. Как только будут созданы технологии подавления кратных волн 3D, они станут обычной практикой. Схемы 3D также необходимы при наличии нерегулярной системы наблюдений (например, большое отклонение от курса) в силу того, что вариации сейсмических траекторий будут вызывать погрешность марок времени в ходе прогнозирования кратных волн.

#### **Исходная информация по данным, использованным в настоящем ситуационном исследовании**

Съемка 3D на Туапсинском месторождении в Черном море проводилась на площади 1200 кв. км для целей геологоразведки с использованием сейсмостанции Q-Marine с одинарными датчиками в августе и сентябре 2007 г. Съемка проводилась с использованием технологии получения данных ПВ-ПП, а пневмопушки

geometry. An important feature of this method is its ability to predict multiples at true azimuth, taking the true raypath of the multiple through the water layer into account. The sensitivity of multiple prediction to azimuth and other issues relating to 3DSRME are discussed by Moore and Bisley (2005). Unlike other implementations of 3D SRME, there is no requirement to regularise, extrapolate to zero offset, or interpolate the shot and receiver sampling intervals prior to 3D GSMP.

In reality any irregularity at the waterbottom can lead to 3D multiple ray paths to greater or lesser extent. For example 3D multiple diffractions can be produced by relatively small localized anomalies in the seabed and produce multiple diffraction curves in 3D space which cannot be modeled in 2D space. As 3D multiple attenuation techniques become established, they will become standard practice. 3D schemes are also required in the presence of irregular acquisition geometry (e.g. high feather) because the variation of seismic raypaths will introduce timing errors during multiple prediction.

#### **Background information for data used in this case study**

The Tuapse 3D survey in the Black Sea comprises 1200 sqkms and was acquired for exploration purposes using Q-Marine single sensor acquisition system in August and September of 2007. The survey was acquired using point-receiver acquisition technology and the shot and streamers were towed at shallow depths of 6 m and 7 m respectively. Ten cables of 6000-m length were deployed at a separation of 100 m: the inline spacing between point receivers was maintained at 3.125m single-sensor trace interval to compensate for perturbations and attenuate noise introduced during acquisition, and shot domain processing was performed at a 2 ms sample rate. The processing at single-sensor trace interval included receiver motion correction; attenuation of swell-induced cable noise and waterborne noise. Shot-by-shot signature using calibrated marine source signature minimised wavelet distortion arising from variations in source characteristics. Digital group forming incorporating a digital antialias filter to 12.5 m trace interval and temporal resample to 4 ms was performed prior to input to 3D GSMP.

#### **Recognising the need for 3D multiple attenuation**

The water bottom two-way-time map shown in figure 3 illustrates that in the eastern half of the survey the waterbottom is complex and in places dips steeply to the north, there is also evidence of irregular topography caused by canyons and infilled channels which can be up to 300 m (400 ms) deep relative to the average water depth. There is up to 800 m of variation in waterbottom depth across the survey giving TWT variation of 1000 ms across the survey area. The dipping nature and irregular 3 dimensional topography of the water-bottom gives rise to complex

**КОГДА РЕЧЬ ИДЕТ О  
БЕЗОПАСНОСТИ  
ПОЛАГАЙТЕСЬ НА ЛУЧШЕЕ™**



Red Wing Shoe Company, Inc.

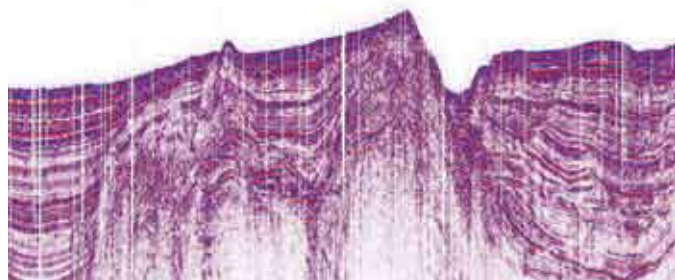
**651.388.8211**

[oilandgasfootwear@redwingshoe.com](mailto:oilandgasfootwear@redwingshoe.com)

и косы буксировались на мелководье с глубиной порядка 6 м и 7 м соответственно. Десять кабелей длиной 6000 м были размещены на удалении 100 м друг от друга: расстояние между сейсмоприемниками поддерживалось на уровне 3,125 м между одинарными датчиками на трассе для компенсации возмущений и подавления помех, возникающих в ходе отработки, а обработка области ПВ была проведена с шагом дискретизации 2 мс. Обработка по интервалам между отдельными датчиками включала в себя коррекцию сдвига приемника, подавление шумов зыби, индуцированных кабелем, и передаваемых по воде помех. Приведение формы импульса по каждому ПВ с помощью калиброванной формы импульса морского источника уменьшило до минимума искажение формы импульса, которые вызывались вариациями в характеристиках источников. Перед тем как вводить данные в систему 3D GSMP, было проведено формирование цифровых групп, которые включали в себя цифровой антиэляйсинг-фильтр для интервала сейсмотрасс равного 12,5 м и временное изменение шага дискретизации до 4 мс.

#### Осознание необходимости в подавлении кратных волн 3D

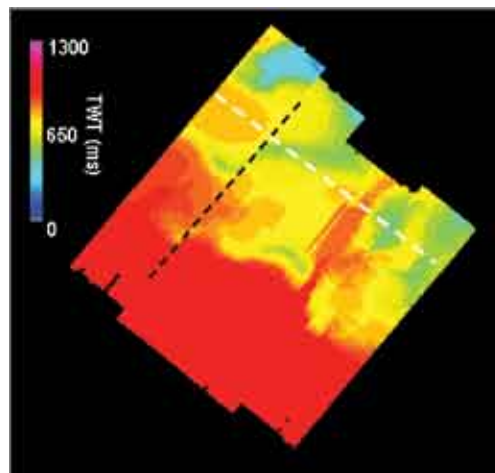
Карта двойного времени пробега при отражении от морского дна, показанная на Рис. 3, демонстрирует, что в восточной половине площади съемки рельеф дна сложный и в некоторых местах круто падает в направлении на север, это также свидетельствует о неровности рельефа вызываемого каньонами и наполненными фарватерами, которые могут быть глубиной до 300 м (400 мс) по сравнению со средней глубиной водной толщи. Перепад глубин может составлять до 800 м в пределах площади съемки, а вариация в значениях двойного времени пробега может составлять до 1000 мс. Падающий и неровный трехмерный рельеф дна вызывает увеличение кратных отражений и дифракций, чья траектория находится вне плоскости отработки в направлении линии судна.



**Рис 4** Разрез перпендикулярно линиям приема массива 3D. Обработано методом окна, чтобы показать сложность поперечного направления с точки зрения рельефа дна

**Figure 4** Crossline section from 3D volume. Windowed to show crossline complexity of waterbottom topography

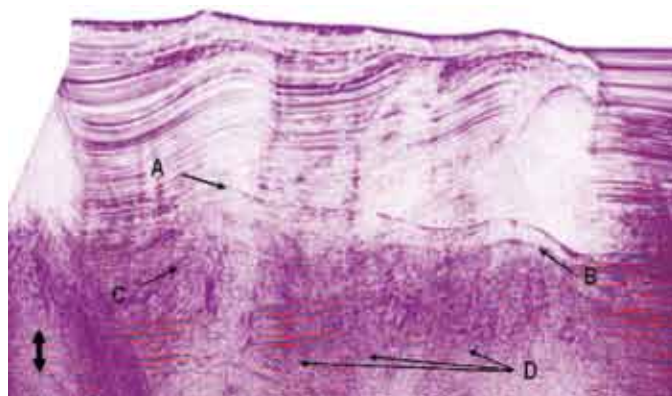
multiple reflections and diffractions whose raypaths lie outside the plane of the acquisition sail-line direction.



**Рис 3** Карта двойного времени пробега, иллюстрирующая сложность рельефа дна. Цветом показано отношение двойного времени пробега и среднего двойного времени пробега на протяжении съемки

**Figure 3** Waterbottom TWT map illustrating the complexity of the waterbottom. Colour indicates TWT relative to average waterbottom TWT across the survey

Figures 4 and 5 show seismic sections from the traverses indicated on the waterbottom TWT map. Figure 4 is a crossline section through 3D volume at location indicated by dashed black line. The complexity of the waterbottom topography can be appreciated. Figure 5 is an inline section at the location indicated by dashed black line. The main target zone is indicated by the thick double

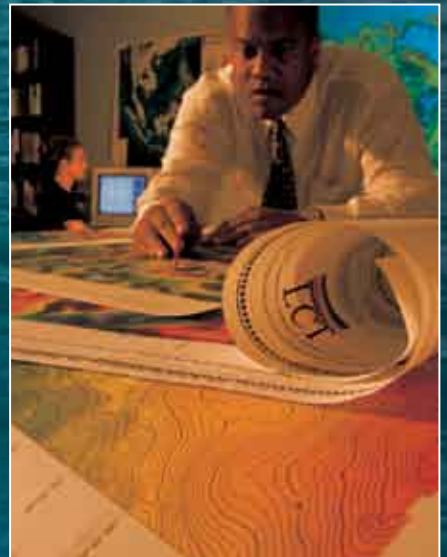


**Рис 5** Разрез вдоль линии наблюдения массива 3D, показывающий основной объект исследований, помеченный жирной черточкой. Классы кратных волн указаны буквами и стрелками.

**Figure 5** Inline cross section through 3D volume showing primary target zone, indicated by the thick arrow. The classes of multiple are indicated by letters and arrows.

# When it's a Question of Offshore Survey... ...Ask Fugro

**Fugro's Offshore Survey Division operates and co-ordinates an extensive, world-wide fleet of survey ships, subsea ROV's and AUV's, collecting geographical, geophysical, geo-spatial and geodetic information.**



Our Differential GPS network facilitates highly accurate positioning for the delivery of inspection services, cable route surveys and marine construction support, which is further enhanced by our oceanographic and meteorological capabilities.

Fugro Survey Ltd. (Caspian) Tel: +994 12 497 1131 Fax: +994 12 497 1132 Web: [www.fugro.com](http://www.fugro.com)

NO OTHER COMPANY CAN PROVIDE THE SAME COMPREHENSIVE RANGE OF GEOTECHNICAL, SURVEY AND GEOSCIENCE SERVICES



На Рис. 4 и 5 показаны сейсмические разрезы от маршрутов, показанных на карте времени двойного пробега при отражении от морского дна. Рис. 4 представляет собой разрез перпендикулярно линиям приема массива 3D в месте, показанном пунктирной черной линией. Можно оценить сложность рельефа дна по нему. Рис. 5 представляет собой разрез вдоль линии наблюдения в месте, показанном черной пунктирной линией. Основным объектом исследований показан жирной двойной черточкой. Объект исследований скрыт следующими четырьмя основными классами кратной энергии:

- A)** Первая кратная волна от дна резко меняется в месте удвоения двойного времени пробега при отражении от дна
- B)** Кратная волна резко меняется от волны, находящейся сразу под дном моря
- C)** Кратные дифракции и
- D)** Рассеянная энергия кратных волн.

Из-за характера рельефа дна, все кратные волны имеют 3D изображение и могут полностью подавляться только при использовании схемы прогнозирования 3D. Рис. 9 представляет собой увеличенное изображение Рис. 5 на участке, где присутствует энергия кратных волн.

### 3D анализ кратных волн и параметризация для прогнозирования кратных волн

Как было указано выше для метода 3D GSMP, модель кратных волн для каждой трассы объекта исследований прогнозируется путем расчета выборки трасс по множественным факторам (MCG). Техническое описание того, как это достигается, не входит в задачу данной статьи. Для читателей, интересующихся техническими подробностями, ниже даны ссылки.

Два основных параметра, влияющих на качество прогнозирования кратных волн – это плотность дискретизации в рамках MCG и ширина апертуры перпендикулярно линии приема. Оба параметра также влияют на стоимость выполнения прогнозирования кратных волн, и их необходимо подбирать тщательно, чтобы получить результат, который является правильным с геофизической точки зрения, но также соответствует финансовым параметрам проекта. На Рис. 6, 7, 8 и 9 мы показываем чувствительность прогнозирования кратных волн 3D GSMP к величине апертуры перпендикулярно линии приема. Рис. 6 показывает данные до обработки с помощью 3DGSMP, а Рис. 7 показывает применение 3D GSMP при апертуре равной 500 м – несмотря на то, что значительная часть энергии кратных волн была подавлена, но некоторая энергия кратных волн все же остается. На Рис. 8 была применена апертура перпендикулярно линии приема, равная 1000 м, и

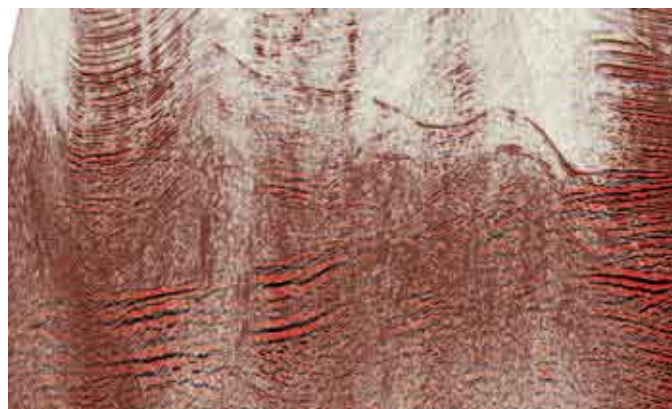
headed arrow. The target is obscured by four main classes of multiple energy

- A)** The first waterbottom multiple bounce at twice the two-way-time of the waterbottom
- B)** Multiple bounces from the event just below the seabed
- C)** Multiple diffractions and
- D)** Scattered multiple energy.

Because of the nature of the waterbottom, all the multiples have 3D expression and can only fully be attenuated through a 3D prediction scheme. Figure 9 is a zoomed in view of figure 5 around the area contaminated by the multiple energy.

### 3D Multiple analysis and parameterisation for prediction of multiples

As indicated above for 3D GSMP, the multiple model for each target trace is predicted by computing a Multiple Contribution Gather (MCG). The technical description of how this is achieved is beyond the scope of this article. For readers who are interested in the technical details please see references below.



**Рис 6** Часть суммарного разреза до подавления кратных волн

**Figure 6** Detail of stack section before multiple attenuation

The two main parameters effecting the quality of the multiple prediction are the density of sampling within an MCG and the crossline aperture width. Both parameters also impact the cost of the multiple prediction and must be selected carefully, to achieve a result that is geophysically correct but also meets the financial constraints of the project. In Figures 6, 7, 8 and 9 we demonstrate the sensitivity of 3D GSMP multiple prediction to the crossline aperture. Figure 6 shows the data before 3DGSMP, in figure 7 3D GSMP is applied using an aperture of 500 m - although a significant portion of the multiple energy has been attenuated some multiple energy remains. In Figure 8 a crossline aperture of 1000 m has been used which has resulted in significantly more multiple energy being attenuated. The results of increasing the aperture width to 1500 m, as shown in Figure 9 does not significantly improve

# Мы Работаем по Всему Миру

Услуги для проектов разведки и разработки запасов  
энергоресурсов по всему миру

Уже почти 30 лет RPS Energy обеспечивает полный спектр услуг по технической поддержке широкого круга международных нефтегазовых проектов.

Недавнее открытие нашего представительства в Москве обеспечивает нам новые возможности по расширению нашего присутствия в таком стратегическом регионе, как Россия и страны СНГ.

Ресурсная база RPS Energy включает свыше 1000 специалистов в различных областях, которые могут оказывать поддержку в технических областях для широкого круга отраслевых проектов, включая наземную и морскую сейсморазведку с обработкой полученных данных, геотехнические и геофизические исследования на производственных объектах, консалтинг в области геодезии и землеустройства, анализ ситуации в области ТБ и охраны окружающей среды и разработка мер по ее улучшению, геологические исследования на бурящихся скважинах, а также обеспечение различных услуг в сфере природоохранных мероприятий.

Наш персонал может работать как в офисах заказчика, оказывая необходимую помощь его техническим группам и руководству, так и на различных производственных объектах заказчика, выполняя функции технического консультанта и/или представителя заказчика на объекте.

Дополнительную информацию можно получить на нашем веб-сайте или связавшись с нашим московским представительством:

Е-200, Ленинский пр.,  
113/1 Парк-Плейс,  
Москва  
17198

T: +7 (495) 726 5701

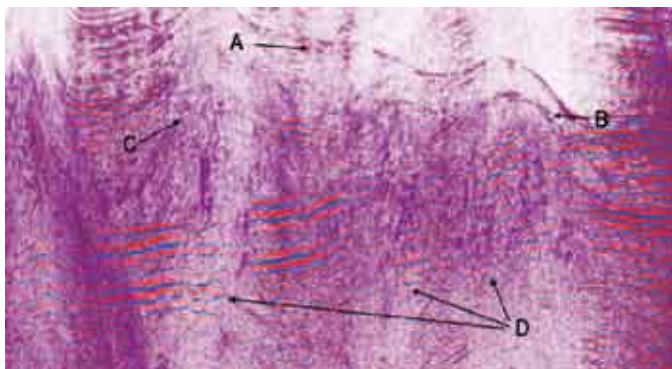
E: [smallM@rpsgroup.com](mailto:smallM@rpsgroup.com)

это привело к подавлению значительно большего количества энергии кратных волн. При увеличении ширины апертуры до 1500 м, как показано на Рис. 9, это не вызвало существенное улучшение подавления кратных волн. Тестирование показало, что элемент линии перпендикулярной линии приема кратной волны находится в пределах 1000 м в плоскости отработки в направлении линии судна. Ширина апертуры перпендикулярно линии приема величиной 1000 м была выбрана для прогнозирования кратных волн на данном участке.

MCG создаются и суммируются для каждой непросуммированной трассы съемки, моделируя тем самым кратные волны, которые вычитаются из вводимых данных с использованием среднеквадратичного адаптивного метода.

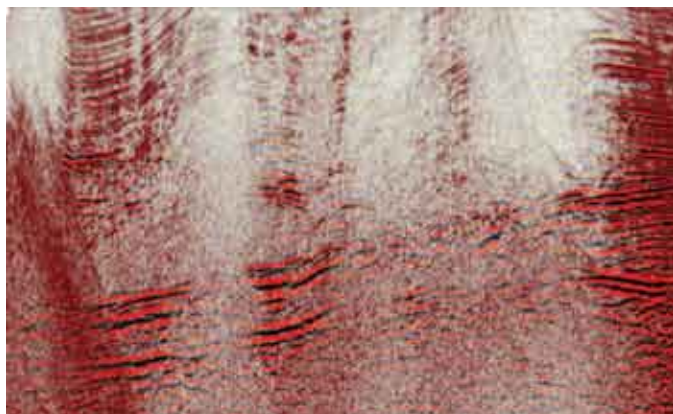
### Может ли вариант 2D решить проблему?

Результаты применения 3D GSMP были сопоставлены с подавлением помех методом 2D SRME. Перед применением метода 2D SRME данные были интерполированы, чтобы симметрично отрегулировать расстояние между ПВ и ПП на уровне 12,5 м. Данные были также экстраполированы на центральный луч, чтобы обеспечить отражение от морского дна по центральному лучу, что является требованием метода 2DSRME. Рис. 10а, 11а и 12а показывают суммарные разрезы, а время обработано методом окна на участке, представляющим интерес, до и после применения 2D SRME и 3D GSMP. Рисунки 11b и 12b показывают разницу между суммированием до подавления кратных волн и после подавления кратных волн методами 2DSRME (Рис. 11b) и 3D GSMP (Рис. 12b).



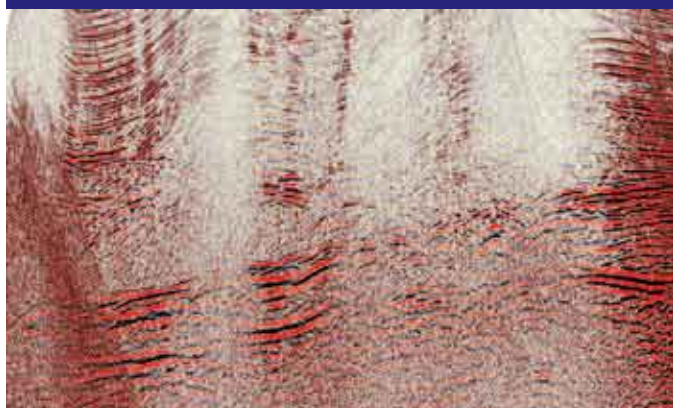
**Рис 10** Разрез вдоль линии наблюдения перед подавлением кратных волн. Классы кратных волн указаны в примечании А) Резкое изменение у дна, В) Кратная волна от неглубокого отражающего горизонта, С) Дифрагированная кратная волна и D) Рассеянная энергия кратных волн.

**Figure 10** Inline section before multiple attenuation. The classes of multiple are annotated А) Waterbottom bounce, В) Multiple from shallow reflector, С) Diffracted multiple and D) Scattered multiple energy.



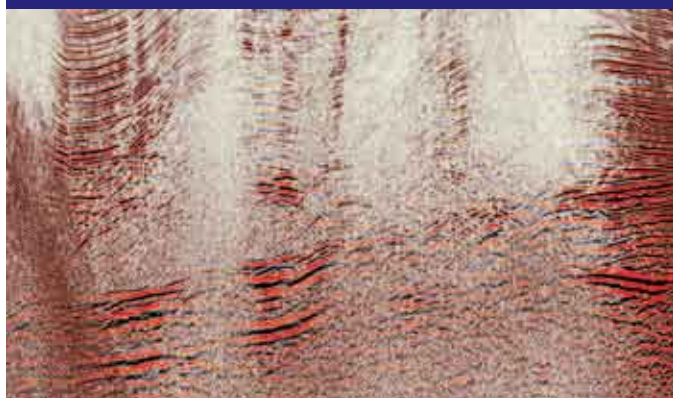
**Рис 7** Суммарный разрез после применения 3D GSMP с апертурой шириной 500 м

**Figure 7** Stack section after 3D GSMP run using an aperture width of 500 m



**Рис 8** Суммарный разрез после использования 3D GSMP с шириной апертуры 1000 м

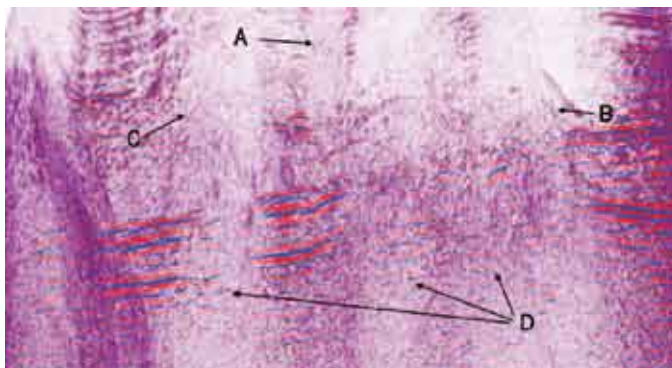
**Figure 8** Stack section after 3D GSMP run using an aperture width of 1000 m



**Рис 9** Суммарный разрез после применения 3D GSMP с шириной апертуры 1500 м

**Figure 9** Stack section after 3D GSMP run using an aperture width of 1500 m

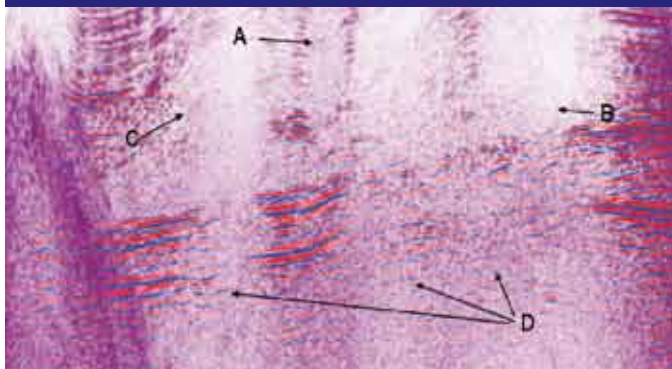
the level of multiple attenuation. The test indicate that the crossline component of the multiple lies within 1000 m of the plane of the sailline direction. A crossline aperture width of 1000 m was selected predict the multiples in this area.



**Рис 11а** Разрез с подавлением кратных волн с применением 2D. Кратные волны первого порядка в большей степени подавлены, кроме кратных волн на мелководье (B), дифракции (C) и остаточная рассеянная энергия кратных волн (D) не подавлена, так как они 3D по простиранию и не могут быть оценены по данным 2D.

**Figure 11a** Section with 2D multiple attenuation.

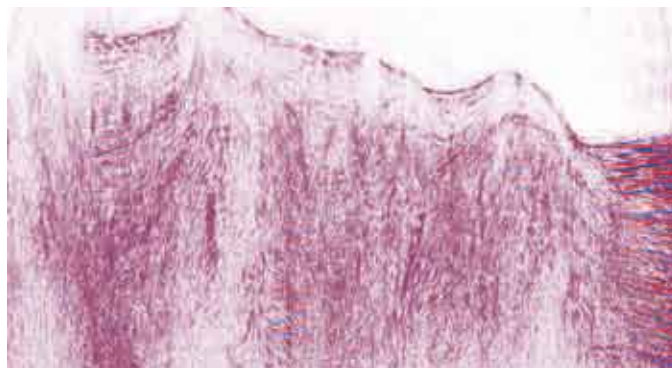
The first order multiple has been largely attenuated multiple but the multiple from the shallow event (B), diffractions (C) and residual scattered multiple energy (D) have not been attenuated because they are 3D in extent and cannot be estimated from 2D data.



**Рис 12а** Разрез с подавлением кратных волн по 3DGSMP. Все классы кратных волн успешно подавлены, выявив однократные волны под ними.

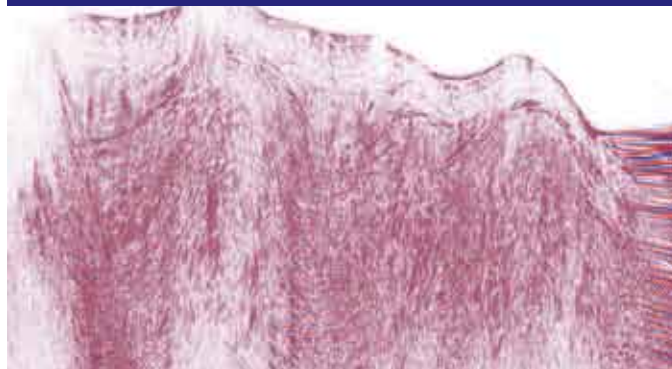
**Figure 12a** Section with 3DGSMP multiple attenuation. All multiple classes have been successfully attenuated revealing primary energy beneath.

Результаты применения 2DSRME показаны на Рис. 11 и демонстрируют, что резкие изменения при отражении от дна первого порядка в основном были подавлены методом 2D. Тем не менее, энергия кратных волн при отражении от участков вблизи дна была подавлена лишь частично и по-прежнему скрывает зону исследования. Там остается все еще значительное количество остаточной энергии кратных волн в виде рассеянной энергии кратных волн и дифракций кратных волн, которые вариант 2D не смог моделировать и подавить. Результаты применения 3D GSMP показанные на Рис.12 показывают, что 3D GSMP успешно подавил и



**Рис 11b** Разность между данными на Рис. 11(а) с подавлением кратных волн по 2D и вводимыми данными, показанными на Рис. 10.

**Figure 11b** Difference plot between data in figure 11(a) with 2D multiple attenuation and input data shown in figure 10.



**Рис 12b** Разница между данными на Рис. 12(а) с подавлением кратных волн по методу 3D GSMP и вводимыми данными, показанными на Рис.10.

**Figure 12b** Difference plot between data in figure 12(a) with 3D GSMP multiple attenuation and input data shown in figure 10.

MCGs are created and stacked for every prestack trace in the seismic survey, giving a multiple model which is subtracted from the input data using a least-squares adaptive subtraction technique.

### Can a 2D approach solve the problem?

The results from 3D GSMP were compared against 2D SRME multiple attenuation. Prior to 2D SRME the data were interpolated to give a symmetrical shot and receiver spacing of 12.5 m. The data were also extrapolated to zero offset to provide a waterbottom reflection at zero offset which is a requirement of 2DSRME. Figures 10a and 11a and 12a show stack sections, time windowed over the zone of interest, before and after application of 2D SRME and 3D GSMP. Figures 11b and 12b show difference plots between the stack before multiple attenuation and after multiple attenuation with 2DSRME (figure 11b) and 3D GSMP (figure 12b)

The 2DSRME results shown in Figure 11 reveal that the first order waterbottom bounce has been largely attenuated by

донные кратные волны и рассеянную энергию кратных волн, генерированную сложными наносами на этом участке. Энергия однократного отражения, скрытая под кратными волнами, была выявлена неподавленной.

### Краткий обзор

Подавление кратных волн становится очень трудным, если кратные волны генерируются сложным по рельефу дном. В данной статье мы продемонстрировали, что наш алгоритм 3D GSMP успешно подавил сложные кратные волны 3D, которые закрывали объект исследования и представляли собой препятствие для интерпретации сейсмических данных. Необходимость прогнозирования кратных волн 3D была подтверждена обследованием морского дна диагностическими средствами, и в результате проведения анализа MCG и применения метода 2D SRME. Анализ моделей кратных волн и тестовых изображений показывает, что дифракции кратных волн и рассеянная энергия кратных волн были успешно подавлены при применении нового алгоритма 3DGSMP. Основные параметры, которые следует учитывать при подавлении кратных волн 3D, это апертура и пространственная дискретизация в рамках проведения MCG. Первый необходим, чтобы гарантировать, что DRP поверхностных кратных волн находится в пределах MCG, а второй важен для предотвращения элэйсинга в пределах MCG. Контрольные тесты в форме селектируемой взаимной корреляции являются удобным инструментом для подтверждения результатов.

### Если хотите почитать что-то еще по теме

Если вы хотите ознакомиться с более подробным описанием метода SRME и нашего алгоритма 3D GSMP, то обращайтесь к нам напрямую. Указанные ниже статьи и технические документы содержат более подробную информацию о SRME и нашей реализации 3D GSMP:-

Moore, I. R. and Bisley, 2005,  
*3D surface-related multiple prediction (SMP): A case history*: The Leading Edge, 24, 270-274.

Moore, I. and Dragoset, W.H.[2008]  
*General Surface Multiple Prediction (GSMP): A Flexible 3D SRME Algorithm*. EAGE Expanded Abstracts.

### Благодарность

Мы благодарим компанию Черноморнефтегаз за их любезное разрешение опубликовать данную статью. Мы также признательны Биллу Драгосету (Bill Dragoset) и Дэвиду Хиллу (David Hill) из компании WesternGeco за предоставленные иллюстрации к данным, а именно Рис. 1 и 2, а также благодарим Эда Палмера (Ed Palmer) из компании WesternGeco за его помощь в редактировании данной статьи.

the 2D approach, However the multiple energy from the near seabed reflectors has only been partially attenuated and still obscure the target zone. There is also a significant amount of residual multiple energy in the form of scattered multiple energy and multiple diffractions which the 2D scheme has been unable to model and remove.

The 3D GSMP results in Figure 12 shows that 3D GSMP has successfully removed both the water-bottom multiple and the scattered multiple energy generated by the complex overburden in this area. The primary reflection energy underneath the multiple has been revealed, un-attenuated.

### Summary

Multiple attenuation is very challenging when the multiples are generated from a complex waterbottom. In this article we have demonstrated that our 3D GSMP algorithm has successfully attenuated complex 3D multiples which obscured the target zone and were a barrier to detailed seismic interpretation. The need for 3D multiple prediction was confirmed by inspection of the waterbottom diagnostics and through both MCG analysis and 2D SRME trials. Analysis of the multiple models and diagnostic plots show that multiple diffractions and scattered multiple energy have been successfully attenuated through use of the new 3DGSMP algorithm. The key parameters to be considered during 3D multiple attenuation are aperture and spatial sampling within an MCG. The former is required to ensure that the DRPs of the surface multiples fall within the MCG, the latter is important to prevent aliasing within an MCG. Verification tests in the form of gated cross correlations are a useful tool for validating the results.

### Suggestions for further reading

If you would like a more detailed description of SRME and our 3D GSMP technique please contact us directly. The following articles and technical papers contain more details about SRME and our implementation 3D GSMP:-

Moore, I. R. and Bisley, 2005,  
*3D surface-related multiple prediction (SMP): A case history*: The Leading Edge, 24, 270-274.

Moore, I. and Dragoset, W.H.[2008]  
*General Surface Multiple Prediction (GSMP) – A Flexible 3D SRME Algorithm*. EAGE Expanded Abstracts.

### Acknowledgements

We thank Chernomorneftegaz for their kind permission to publish this article. We also thank Bill Dragoset and David Hill of WesternGeco for their illustrations in figures 1 and 2 and Ed Palmer of WesternGeco for his help in editing this article.



## Международная компания по оказанию инженерно-технических консультационных услуг

Планирование и техническая проработка проектов •  
Обеспечение эксплуатационной надежности основных фондов • Повышение производственных показателей  
• Технический контроль

Компания Advantica, входящая в группу GL, оказывает комплексные инженерно-технические консультационные услуги, выполняет проектно-конструкторские работы и предоставляет программные продукты, предназначенные для повышения эксплуатационной надежности и производственных показателей важнейших объектов, относящихся к основным фондам предприятий нефтегазовой отрасли. В течение более чем 30 лет компания Advantica сотрудничала с предприятиями в сфере безопасного сокращения затрат, оптимизации производственных показателей и продления срока службы основных фондов.

Недавнее слияние компании Advantica с подразделением Germanischer Lloyd по обслуживанию производственных предприятий привело к созданию компании международного масштаба, имеющей более 205 отделений в 75 странах мира и обладающей опытом и возможностями предоставления услуг, которые охватывают весь срок эксплуатации основных фондов. Независимый статус компании позволяет ей предоставлять заказчикам объективные рекомендации и содействие.

За дополнительной информацией следует обращаться по адресу:

Advantica Ltd  
Holywell Park, Ashby Road, Loughborough  
Leicestershire, LE11 3GR, UK

Тел.: +44 (0)1509 282525

Факс: +44 (0)1509 283131

Адрес электронной почты: [info.uk@advanticagroup.com](mailto:info.uk@advanticagroup.com)



**ADVANTICA**  
A GL company

## Повышение эксплуатационной надежности основных фондов

Совместно с владельцами мы занимаемся разработкой и реализацией на их объектах и трубопроводах программ обеспечения эксплуатационной надежности основных фондов.

Наша компания выполняет следующие работы, направленные на обеспечение безопасности технологических процессов:

- Анализ безопасности на уровне организации
- Разработка программ снижения риска
- Проверки с выявлением факторов риска
- Количественный анализ риска
- Разработка инструкций по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций