

Новые технологии сейсмоакустического профилирования на акваториях

■ Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Геологический факультет МГУ, г. Москва.

Авторы предлагают новые технологии наблюдений и обработки данных сейсмоакустического профилирования на акваториях, позволяющие существенно ослабить влияние отражений от поверхности воды на отраженный сигнал от изучаемых границ, что повышает разрешающую способность и помехоустойчивость метода, позволяет использовать данные для определения акустических свойств отложений.

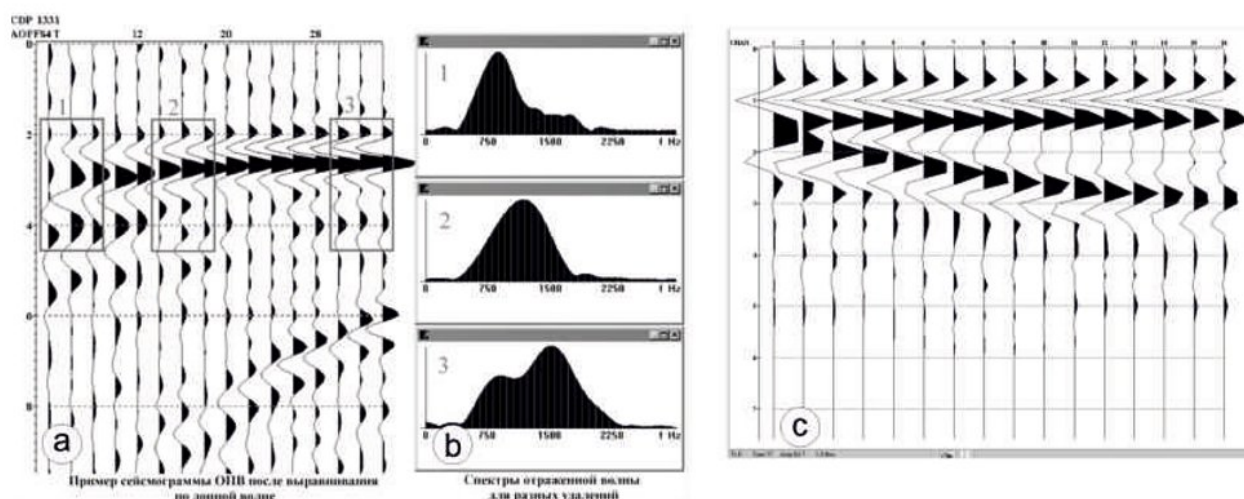
Введение.

Метод одноканального непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП или НСАП) был изобретен в 50-е годы прошлого столетия и быстро стал популярным благодаря простоте реализации и наглядности получаемых данных. Эти достоинства позволили методу долгое время сохраниться практически неизменным – совершенствовалась в основном только аппаратура. Даже сейчас при инженерных изысканиях часто используется одноканальное профилирование.

Прогресс в развитии регистрирующих и обрабатывающих систем создал условия для реализации более сложных систем наблюдений для повышения информативности исследований. Например, уже реализованы многоканальные системы сейсмоакустического профилирования

(Гайнанов и др., 2008), системы, работающие в разных частотных диапазонах (Гайнанов, Зверев, 2010), разрабатываются системы для трехмерных сейсмоакустических исследований (Шматков, Токарев, 2014).

Применение многоканальных наблюдений направлено на повышение надежности и точности построений, на оценку физико-механических характеристик отложений. Однако опыт их применения показал, что в морских условиях трудно или невозможно задавать и поддерживать одинаковую глубину буксировки для всех каналов, что приводит к изменчивости амплитуды и формы волны по каналам (рис.1). Это ухудшает избирательность направленного суммирования, снижает эффективность многих процедур обработки.



▲ Рис. 1. Примеры сейсмограмм с изменяющейся от канала к каналу формой отраженной волны (выравнивание по донной волне: а – бумер, с – спаркер) и спектры отраженной волны для разных удалений (b). В случае (a) коса с удалением всплывала, в случае (с) – тонула.

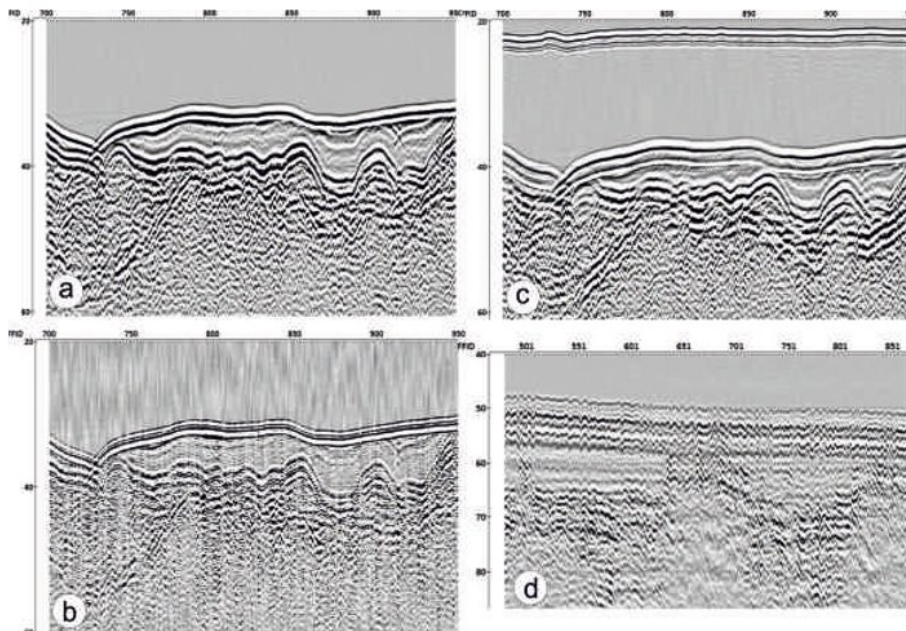


Рис. 2. Фрагменты одноканальных временных разрезов: а) источник и приемник на оптимальной глубине; б) приемник на глубине меньше оптимальной; в) приемник на глубине больше оптимальной; г) источник и приемник на глубине значительно больше оптимальной.

В самом начале разработки метода было показано, что для получения качественных результатов требуется буксировать источник и приемник на оптимальной глубине от поверхности воды (Калинин и др., 1974), которая равна четверти преобладающей длины волны сигнала. Тогда достигается максимальная амплитуда принимаемого сигнала при достаточно высокой разрешающей способности (рис.2,а). Буксировка источника или приемника на меньшей глубине резко снижает амплитуду принимаемого сигнала, а на большей глубине увеличивает длительность сигнала при одновременном уменьшении его амплитуды (рис.2, б, в). Буксировка на существенно большей глубине делает сигнал многофазным, а материалы становятся мало пригодными для интерпретации (рис.2, г).

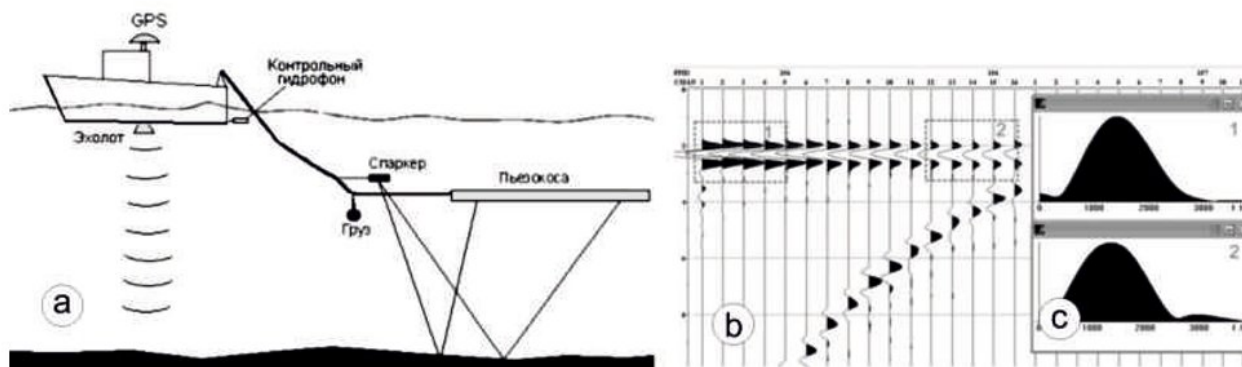
Отсутствие устройств для достаточно точного задания и контроля таких глубин, заставляет делать это с помощью подбора специальных грузиков и поплавков, варьируя длину кабеля и т.д. На это часто тратится много времени, иногда безуспешно. Кроме этого, буксируемая близко к поверхности сейсмоакустическая система очень чувствительна к состоянию

поверхности воды – волнение моря в 1–2 балла уже приводит к заметному ухудшению качества получаемых данных.

Многоканальное сейсмоакустическое профилирование с заглубленной расстановкой.

Одним из вариантов решения проблемы является буксировка источника и приемной системы на значительно большей глубине, чем длина принимаемых волн, так что волна-спутник не интерферирует с основным сигналом. Это позволяет избавиться от влияния волнения моря и нестабильности глубины буксировки на форму сигнала, раза в два сокращается длительность сигнала (рис.3). Возможность контроля формы возбуждаемого импульса по прямой волне, и волне, отраженной от поверхности воды, создает условия для эффективного применения детерминированной деконволюции, определения коэффициентов отражения и AVO-анализа (Tokarev et al).

Одним из недостатков работы с заглубленной расстановкой является наличие волн-спутников, отраженных от поверхности воды. Поэтому в чистом виде регистрируются только отраженные



▲ Рис. 3. Схема наблюдений с заглубленной расстановкой (а), пример зарегистрированной сейсмограммы (b) и спектры прямой волны на разных удалениях (с) (вступления прямой волны приведены к одному времени). Амплитуда прямой волны монотонно затухает с расстоянием, форма волны и частотный спектр практически не меняются.

волны от неглубоких границ под дном, которые приходят к приемникам раньше этих спутников (рис.4).

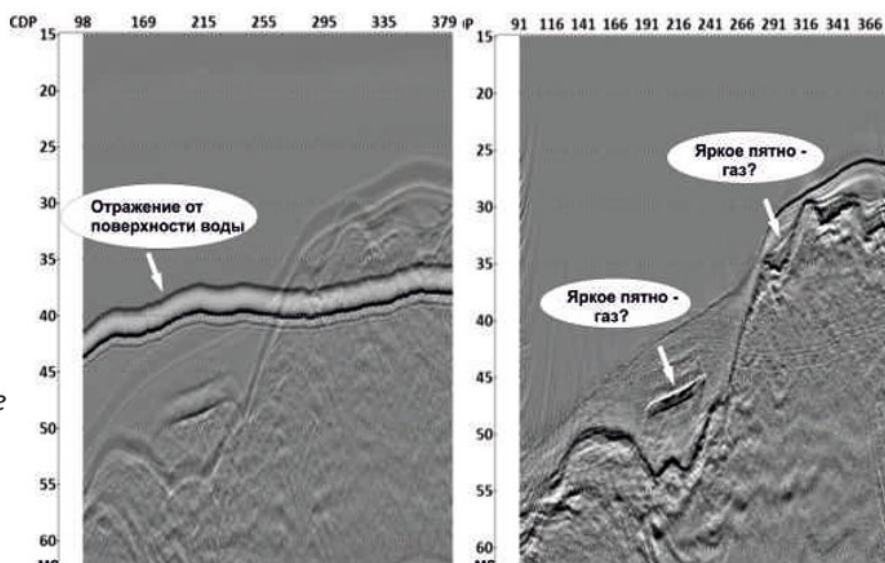
Когда заглубление источника большое, на отражение от границ может накладываться

и волна-спутник от источника (рис.5,а). Но при обработке специальными средствами часто удается достаточно сильно ослабить такие помехи (рис.5,б).



◀ Рис. 4. Фрагмент временного разреза, полученного с заглубленной расстановкой (показаны волны-спутники).

► Рис. 5. Фрагмент временного разреза, полученный заглубленной системой, до и после обработки (стрелками показаны волна-спутник, отраженная от поверхности воды, и «яркие пятна», обусловленные небольшими скоплениями газа в осадках).



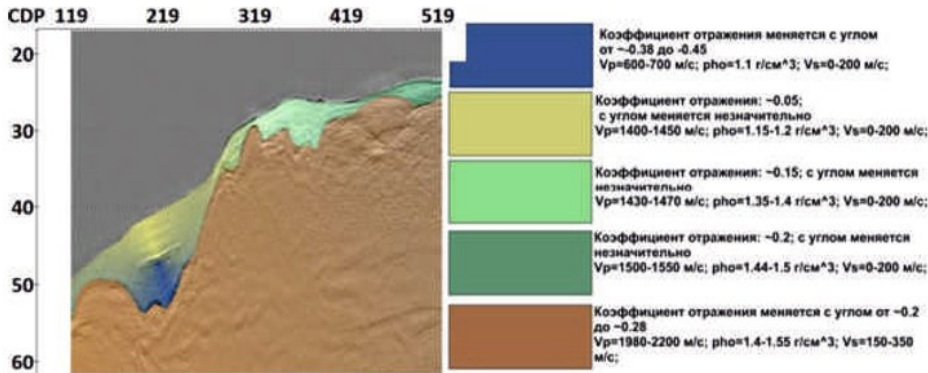


Рис. 6. Модель упругих свойств отложений.

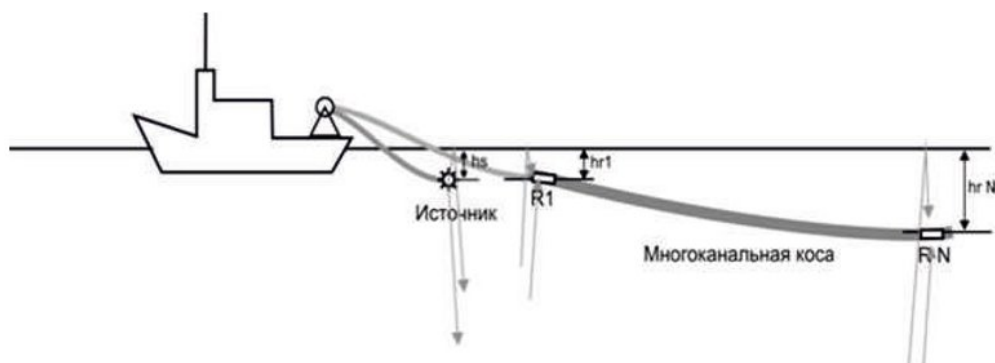
Обработка включала в себя детерминистическую деконволюцию и миграцию, благодаря чему удалось достичь исключительно высокого разрешения (около 10 см по вертикали), и «яркие пятна» на разрезе не только стали видны, но и стала четко заметна их отрицательная полярность.

Высокая разрешающая способность и высокая точность регистрации прямой волны, детальный кинематический и динамический анализ данных, включая АВА-инверсию, позволили построить модель упругих свойств отложений и достоверно показать наличие скоплений газа в осадках (рис.6).

Профилирование с заглубленной расстановкой имеет ряд недостатков: 1) низкая скорость профилирования -1,5-2 узла, когда с обычной системой 5-6 узлов и выше; 2) работать можно только начиная с некоторой глубины воды; 3) волн-спутники часто ограничивают глубинность исследований; 4) сложность обработки данных.

Поэтому такая технология не может еще широко применяться.

Рис. 7. Наклонная буксировка многоканальной косы.

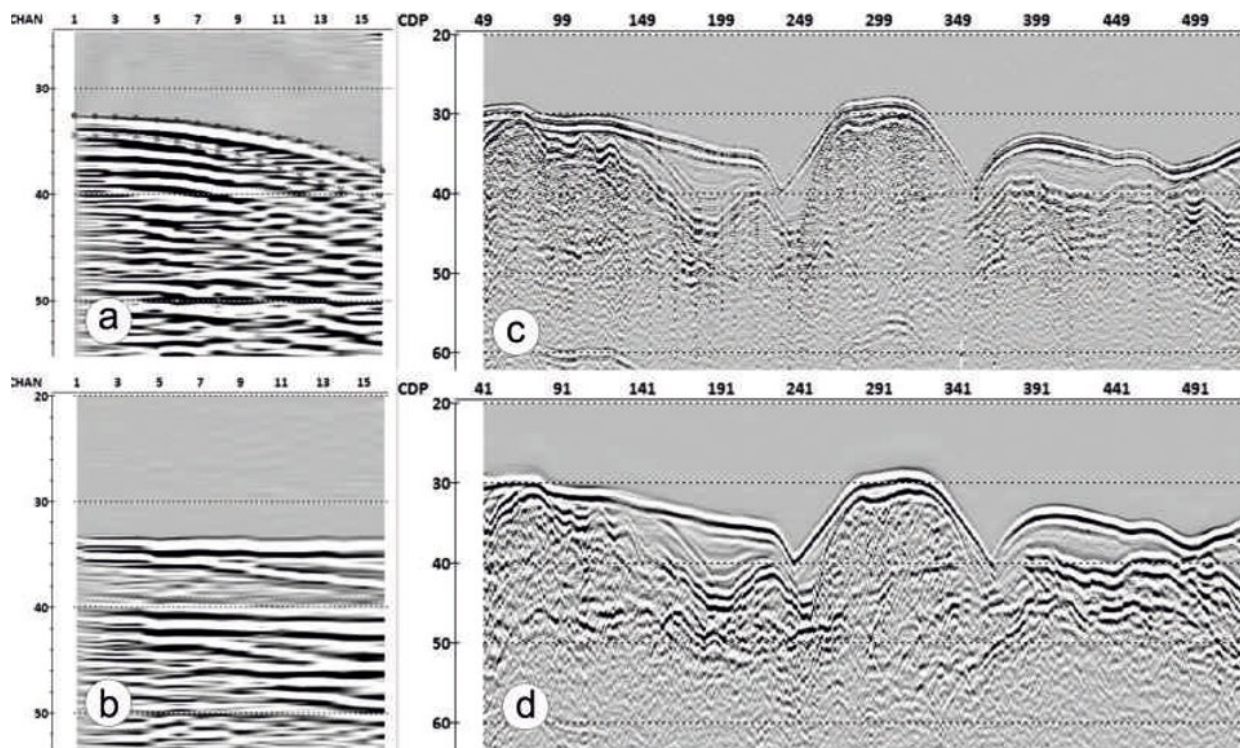


Многоканальное сейсмоакустическое профилирование с наклонно буксируемой косой.

Как говорилось выше, серьезной проблемой многоканального сейсмоакустического профилирования является невозможность задавать одинаковые глубины для всех приемных каналов. Например, на многоканальной сейсмограмме (рис.1,с) по запаздыванию волн-спутника от поверхности воды видно, что заглубление приемников возрастало от головы к хвосту косы.

Мы предлагаем отказаться от использования волн-спутников для усиления суммарной отраженной волны, а наоборот, максимально ослабить волн-спутники в точке приема. Идея реализуется наклонной буксировкой многоканальной косы, так, что приемники разных каналов оказываются не на одинаковых «согласованных» глубинах, а, наоборот, на разных глубинах (рис.7).

При обработке данных перед суммированием по ОГТ вводятся статические и



▲ Рис. 8. Иллюстрация обработки данных с наклонной косой: а) сейсмограмма с пикировкой отражения от дна и его спутника в точках приема; б) та же сейсмограмма после ввода статических поправок за наклон косы и кинематических поправок; в) временной разрез по первому каналу; д) суммарный разрез по 16 каналам.

кинематические поправки, выравнивающие вступления первых волн, и они суммируются синфазно. Волны-спутники суммируются с остаточными разбросами времен, и существенно подавляются. Еще большее подавление волн-спутников достигается применением специальной процедуры обратной фильтрации. Это позволяет при суммировании подавить волну-спутник и ослабить влияние волнения моря, сократить длительность сигнала (рис.8).

Преимущества данной технологии по сравнению с приповерхностной буксировкой всех каналов:

1. Гораздо проще буксировать многоканальную косу наклонно – можно задавать согласованную глубину только для источника и первых каналов косы, последующие каналы могут идти на все больших глубинах (рис.7). Точный расчет заглубле-

ний и нейтральной плавучести косы не требуется.

2. Достигается значительно более высокая, чем по традиционной технологии, разрешающая способность исследований, так как обработка направлена на выделение сигнала, сформированного только в источнике.

3. Обеспечивается более высокая стабильность и меньшая зависимость суммарного сигнала от условий буксировки и состояния моря.

По сравнению с заглубленной расстановкой, данная технология не обеспечивает регистрацию прямой волны от источника, а также суммарный отраженный сигнал все же зависит от условий буксировки и состояния поверхности воды. Поэтому полученные данные мало годятся для динамического анализа и определения акустических свойств отложений.

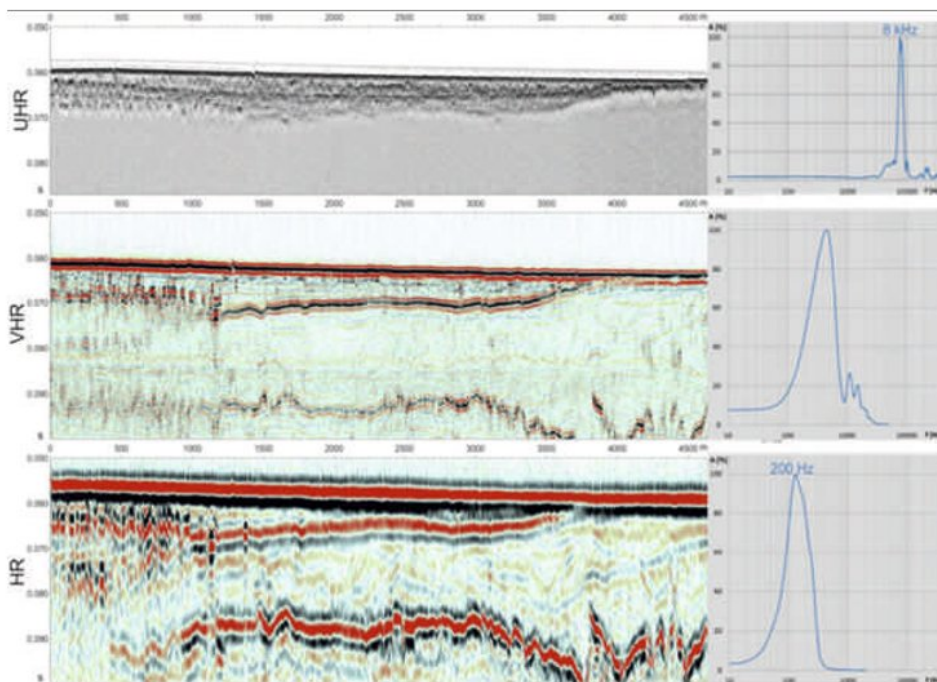


Рис. 9. Примеры данных, полученных методикой двух-уровневых трех-частотных сейсмо-акустических наблюдений: глубинность UHR - 20м, разрешающая способность - 0,5м, глубинность VHR - 100м, разрешающая способность - 1 м, глубинность HR - 500м, разрешающая способность 3 м.

Методика двухуровневых трехчастотных сейсмоакустических наблюдений.

Сейсмоакустическое профилирование выполняется одновременно с тремя системами, работающими в трех частотных диапазонах:

1. Параметрический профилограф (UHR) с центральной частотой 8 кГц.
2. Электроискровой источник «Спаркер» с регистрацией заглубленной 16-канальной косой (VHR) – центральная частота сигнала около 500 Гц.
3. Пневматический источник с регистрацией 96-канальной косой (HR) – центральная частота сигнала около 200 Гц.

Данной методикой были проведены региональные инженерные изыскания в море Лаптевых. Примеры полученных данных приведены на рис.9.

Заключение.

Таким образом, в настоящее время мы имеем возможности реализовать различные технологии сейсмоакустического профилирования на акваториях для решения как производственных, так и научных задач.

Литература

1. Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л., Определение основных параметров непрерывного сейсмического профилирования с электроискровым источником // Прикладная геофизика, вып. 73, 1974. с. 69 – 94.
2. Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Зверев А.С., Росляков А.Г., Многоканальное сейсмоакустическое профилирование на разных частотных диапазонах – реальные возможности // Разведка и охрана недр. 2008. № 1, С. 35–38.
3. Гайнанов В. Г., Зверев А. С., Сейсмоакустический комплекс для двухчастотного профилирования на акваториях // Океанология, 2010, том 50, № 4, с. 649–653.
4. Шматков А.А., Токарев М.Ю., Новая методика трёхмерных сейсмоакустических наблюдений на мелководных акваториях // Экспозиция Нефть Газ.-2014.-№6.-с. 39-42.
5. Tokarev M.Y., Kuzub N.A., Pevzner R.L., Deep-towed high-resolution seismic system for investigation of the uppermost subbottom sediments at shallow waters // EAGE Near Surface 2006.