

# Устранение пробела: комплексирование данных, полученных с помощью донных приемных блоков и сеймокос, для реализации геофизического мониторинга

Filling the gap: integrating nodes and streamer data for geophysical monitoring

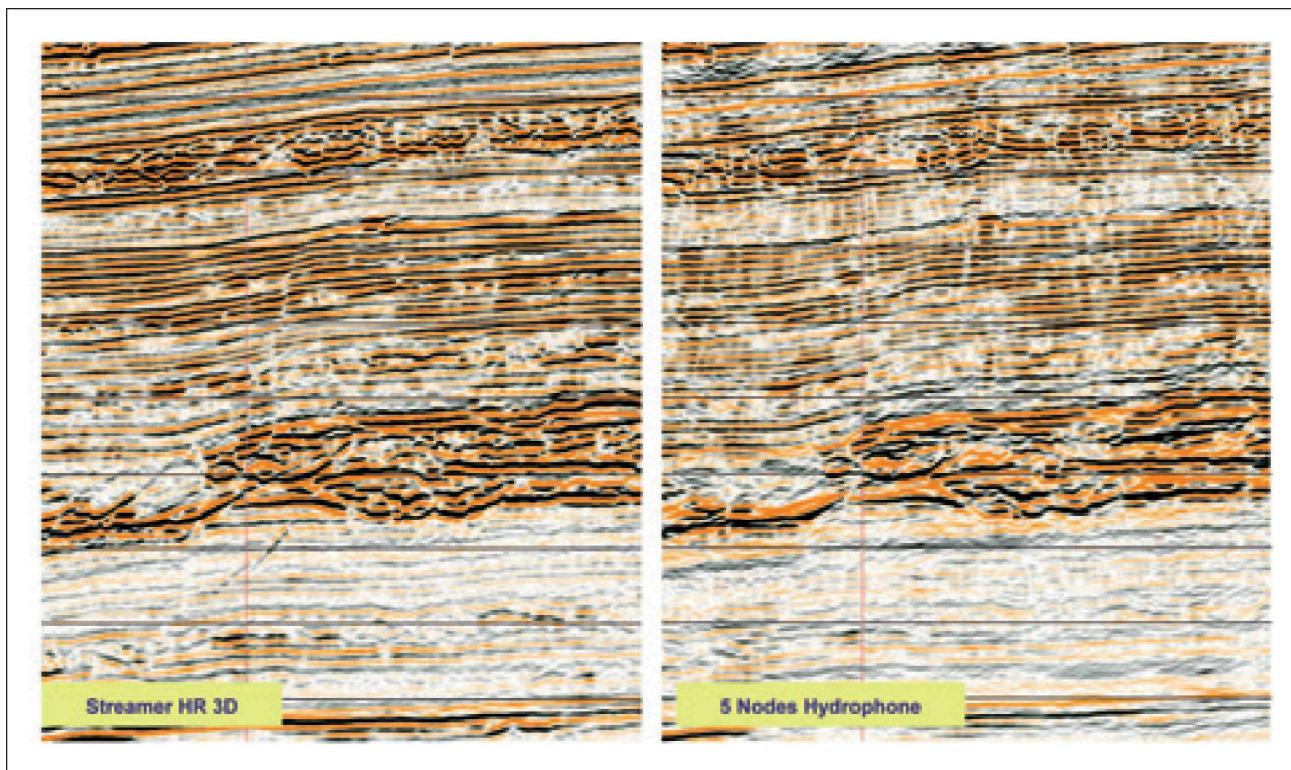
**E. Ceragioli, A. Kabbej и A. Gonzalez Carballo из компании Total, и D. Marin из CGG** обсуждают, как редко расставленные донные сейсмические приемные модули могут дополнить традиционную методику морской сейсморазведки с использованием сеймокос при разведке изменяющихся или «загороженных» объектов. Рассматривается пример проекта исследования сверхглубоководного нефтегазового месторождения.

**В** недавнем прошлом различные исследования и соответствующие публикации показали, что при сравнительно редкой расстановке сейсмических узлов на дне океана можно получить высококачественные данные. Одним из возможных приложений данной перспективной геофизической технологии является его использование в качестве дополнения к данным, полученным с помощью сеймокос, для съемки изменяющихся областей, для которых традиционная морская сейсморазведка или сейсморазведка с донными косами нереализуемы или слишком опасны с точки зрения техники безопасности и охраны окружающей среды. В данной статье мы оцениваем годность такого объединенного подхода использования сеймокос и донных узлов для геофизического мониторинга сверхглубоководного нефтегазового месторождения.

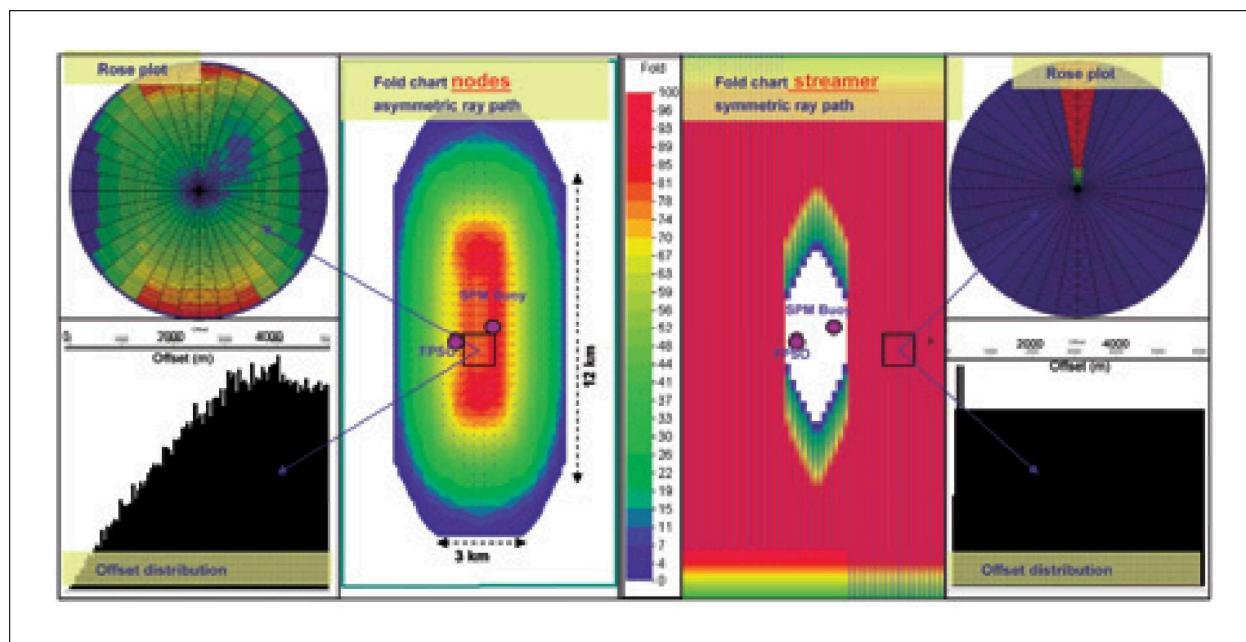
Мы разработали методику планирования комплексной съемки с учетом различной природы двух наборов данных, а также другие важные ограничения данных методик; оценили схемы как совместной временной, так и глубинной миграции до суммирования, решив проблему разницы между данными, полученными на дне океана и на поверхности; и оценили влияние данного комплексного подхода на интерпретацию результативных сейсмических амплитуд, концентрируясь на периодическом определении характеристик турбидитовых продуктивных поясов.

## Предвидение

В последние годы использование методов периодических наблюдений стало важным инструментом для геофизического мониторинга разработки нефтяных и



**Рис. 1.** Результаты трехмерной миграции высокоразрешенных данных, полученных с помощью сеймокос, номинальная кратность OCT 52 (слева) и соответствующая трехмерная миграция данных по пяти донным узлам вдоль той же линии приема (справа).



**Рис. 2.** Большой пробел, оставленный после съемки с сейсмокосами (справа), заполнен данными донных узлов (слева). Рисунок поясняет различную природу этих двух методов. В то время как данные по всем азимутам получены с использованием донных узлов, очень узкий диапазон амплитуд охвачен при съемке с сейсмокосами. Вклад удалений является плоским для данных, полученных с помощью сейсмокос, и расплющивается по всем азимутам для данных, полученных с использованием донных узлов.

газовых месторождений. В результате этого все большее количество сейсморазведочных проектов планируется и выполняется по затрудненным областям.

Преграды для сейсмической съемки могут быть расположены на морской поверхности (эксплуатационные морские платформы, плавучие нефтедобывающие системы, плавучие установки для добычи, хранения и отгрузки нефти), в толще воды (распорные системы, трубопроводы, связывающие морскую платформу с подводным месторождением), и на морском дне (трубопроводы и заканчивания скважин). В этих эксплуатационных средах, правила техники безопасности и охраны окружающей среды сильно ограничивают работы. Из-за этого большие области остаются непокрытыми в течение повторных наблюдений. Конечное качество полученных данных может сильно страдать. Поэтому проекты мониторинга могут требовать много усилий, или просто оказаться невыполнимыми, если они реализуются с использованием традиционных методик.

Возможным решением вышеупомянутой проблемы является использование морских донных приемных модулей (узлов). Стратегически располагая их под эксплуатационными объектами, узлы могут использоваться в качестве дополнения к данным, полученным с помощью сейсмокос, для устранения пробелов, оставленных после прохода с сейсмокосами. Моделируя типичный глубоководный сценарий (подстрел плавучей установки для добычи, хранения и отгрузки нефти), мы оцениваем выполнимость такого подхода «узлы/сейсмокосы», начинающегося с проектирования объединенной съемки и заканчивающегося интерпретацией окончательно обработанного «склеенного» набора данных.

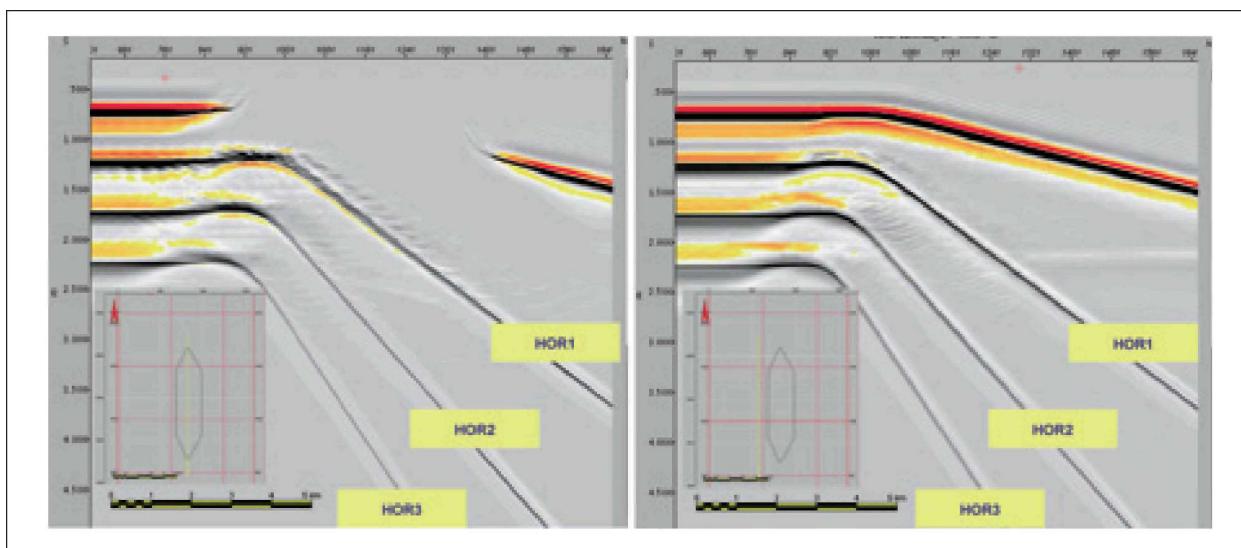
### Технология узлов

Узлы представляют собой четырехкомпонентные автономные системы, которые размещаются на морском дне и запрограммированы для записи волновых полей, возбуждаемых на поверхности буксируемым сейсмическим источником. Узлы имеют много достоинств: поскольку они разворачиваются подводным аппаратом дистанционного управления, они могут быть расположены в областях, недоступных другими способами; морские съемки легко реализуемы и хорошо согласуются с техникой безопасности и охраны окружающей среды; можно достигнуть хорошего расположения и, следовательно, повторяемости; преимущество стыковки и качества данных вследствие отсутствия кабеля, обеспечивающего передачу чувствительных элементов; в сверхглубоководных условиях возможна запись четырехкомпонентных данных по всем азимутам.

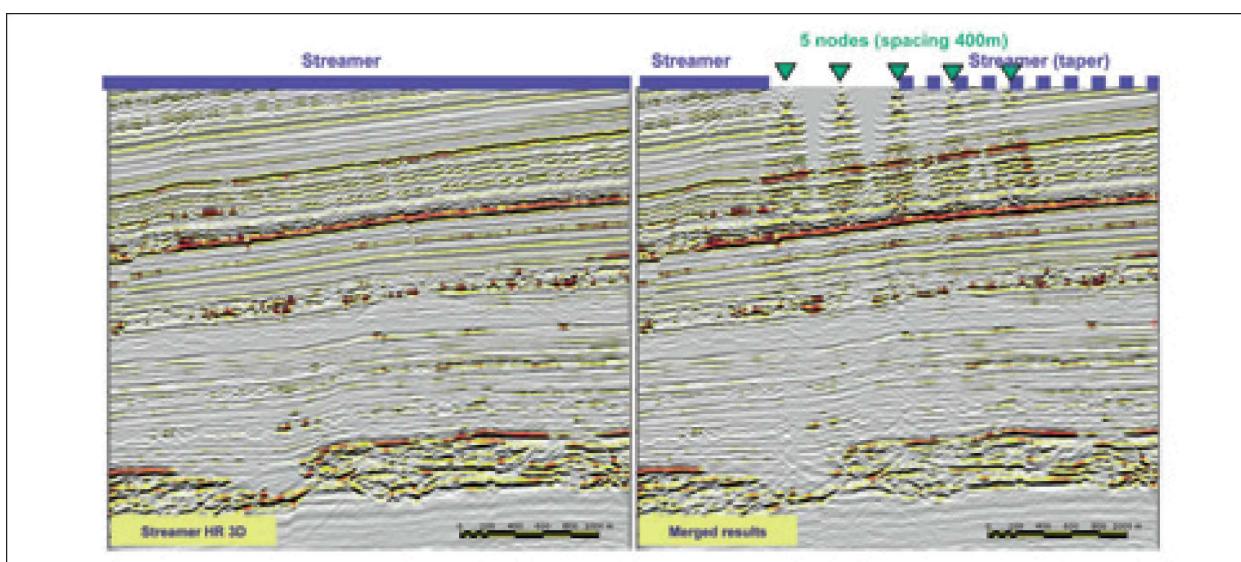
Экспериментальное испытание, проведенное в 2004 г. компаниями CGG и Total в прибрежье Анголы (Granger и др., 2005; Boelle и др., 2005), дало чрезвычайно ободряющие результаты, демонстрируя, что высококачественные данные могут быть получены с относительно редким распределением автономных морских донных (рис. 1).

### Проектирование съемки в условиях глубоководного размещения плавучей установки для добычи, хранения и отгрузки нефти

Мы рассматриваем типичное глубоководное размещение плавучей установки для добычи, хранения и отгрузки нефти, связанное с углеводородным разгрузочным буем с 2-километровым разделением между двумя. В первой фазе, была разработана съемка с использованием сейсмокос для оконтуривания загражденной области. Эта съемка была произведена в полном соответствии с



**Рис. 3.** Результаты миграции после суммирования синтетического объединенного набора данных. Слева: вдоль области узлов. Влияние системы наблюдений очевидно для сейсмических явлений на небольшой глубине (HOR1). Справа: по области, покрытой только данными по сейсмокосам.



**Рис. 4.** Результаты миграции после суммирования. Слева: высокоразрешенные данные по сейсмокосам с номинальной кратностью ОСТ 52. Справа: объединенный подход — данные по сейсмокосам более низкого разрешения + узловые данные по центральной области, номинальная кратность 4. Голубые квадраты отображают искусственное наращивание кратности данных по сейсмокосам.

правилами техники безопасности и охраны окружающей среды, с учетом локальных течений, радиуса поворота буксирующего косы судна, и безопасных расстояний от производственных установок. Из-за параметров, используемых в данном примере, после съемки остался большой пробел площадью примерно  $40 \text{ km}^2$ .

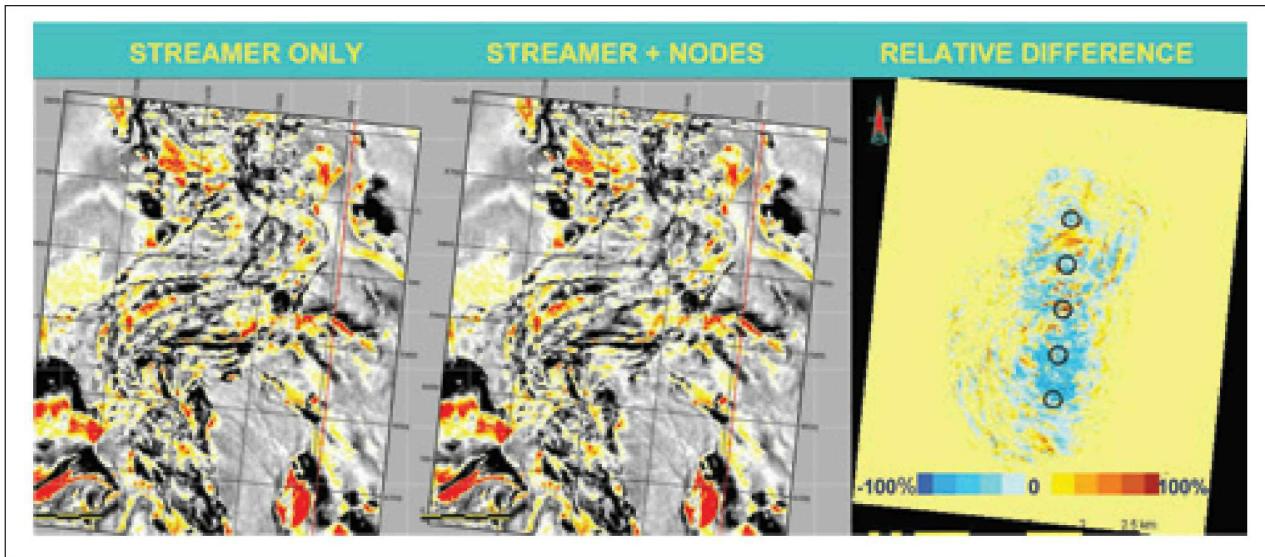
Как только обозначен пробел, мы заполняем это регулярной сеткой узлов. Затем проектируется плотная сетка источников таким образом, что каждый узел одинаково представлен на удалениях и азимутах. Затем для объединенной съемки вычисляются объединенные карты кратности наблюдений и другие традиционные атрибуты трехмерной съемки. Во всех атрибуатах учитывается разница в природе регистрируемых данных между двумя съемками, что проявляется в симметричном пути луча для данных по сейсмокосам и асимметричном

пути луча для узлов. Анализ элементарных диагностик показывает полностью различную природу двух съемок (рис. 2) и обозначает фундаментальные вопросы. Будет ли возможна объединенная миграция? Каким будет влияние системы наблюдений на ожидаемый 4D сигнал в конце всего графа обработки?

### Совместная обработка данных по сейсмокосам и узлам

Чтобы проверить, что объединение данных различной природы (рис. 2) может дать надежные результаты обработки, мы запустили трехмерную миграцию до суммирования, как во временной области, так и в глубинной.

Вследствие разницы между уровнями приема данных с использованием узлов и сейсмокос, требуются особые трансформации для того, чтобы алгоритмы миграции



**Рис. 5.** Извлечения амплитуд для результатов по сейсмокосам и объединенной временной миграции до суммирования и их относительная разница по комплексу каналов в центре исследуемой области. Положения узлов показаны в виде черных окружностей.

работали правильно. В частности, функции Грина вычислены как от поверхности воды, так и от морского дна. Для данных по сейсмокосам используются поверхностные функции Грина, в то время как для данных по узлам мы используем функции Грина по поверхности для источников и по дну — для приемников.

Глубинная миграция до суммирования была запущена на синтетических данных, произведенных в результате построения сейсмических лучей в упрощенной глубинной модели. Смоделированные съемки приобретения (сейсмокосы и узлы) описаны в предыдущем разделе. Результаты (рис. 3) показали, что кинематика распространения волны правильно обработана для объединенных данных. Вследствие редкой расстановки и неполному представлению близких удалений, область, покрытая узлами, подвержена определенному влиянию системы наблюдений. Удовлетворительное изображение получено для более глубоких поисковых объектов.

Временная миграция до суммирования была запущена на реальных данных, полученных в 2004 г. в ходе испытаний Girassol (Granger и др., 2005; Boelle и др., 2005). Разрешение данных по сейсмокосам снижено для имитации наличия ограничений. Потеря кратности компенсирована данными по узлам. Смоделированы различные сценарии для имитации различных условий регистрации и обработки перед запуском объединенного графа временной миграции до суммирования. Результаты показывают, что, несмотря на низкую кратность, данные по сейсмокосам и узлам группируются только в четыре класса по удалениям — удовлетворительные изображения могут быть получены в результате этого объединенного подхода (рис. 4). На целевых уровнях не обнаруживается остаточного влияния системы наблюдений, связанного с узлами.

### Объединенные результаты временной миграции до суммирования: аспекты интерпретации

Для оценки влияния объединенного подхода к временной миграции до суммирования на интерпретацию

турбидитовых продуктивных поясов, амплитуды извлечены на различных уровнях резервуара данного месторождения. Результаты этого подхода на основе амплитуды приводят к следующим заключениям:

1. С качественной точки зрения, подстановка замещение сейсмокос узлами не препятствует определению структуры канальной системы. Оптимизированный подход к объединенной миграции управляет отображающими аспектами, несмотря на дефицит данных.

2. С количественной точки зрения, разница в амплитудах между результатами объединенного подхода и первоначальными результатами по сейсмокосам составляет до 40-50 % (Рис. 5). В контексте данного испытания это влияние могло бы выйти за пределы ожидаемой амплитуды 4D эффекта.

Однако мы должны принять во внимание, что плотность сети узлов и их полная кратность были бы намного больше в случае работ в "натуральной величине".

### Заключения и перспективы

Исследования и эксплуатационные испытания, проведенные в период с 2004 по 2006 гг. подтвердили, что высококачественные данные могут быть получены с использованием редко расположенных автономных узлов. Данные по узлам могут быть успешно совмещены с окружающими данными по сейсмокосам для составления надежного геофизического набора данных для исследований с повтором наблюдений по ключевым областям наших месторождений поскольку:

- Совместная съемка с использованием сейсмокос и узлов может быть правильно спроектирована с учетом практических ограничений и техники безопасности и охраны окружающей среды, наряду с требованиями для обнаружения желаемых эффектов мониторинга.
- Мы успешно реализовали временную и глубинную совместные миграции, решив проблему разницы

между уровнем приема данных на морском дне и на поверхности.

- Интерпретация результатов совместной временной миграции до суммирования показала, что, несмотря на низкую кратность наших тестовых данных по узлам, важные осадочные особенности представлены относительно хорошо. Возможность использования узлов для мониторинга базы сейсмокосы не должна быть отброшена, но этот подход должен быть тщательно оценен относительно функции ожидаемых 4D сигналов.

Ряд важных проблем до сих пор исследуется, а именно:

- Повторяемость съемки с использованием узлов.
- Оптимизация предварительной обработки (снижение шумов, интерполяция данных, множественное ослабление) и алгоритмы отображения (мультиазимутальная томография), чтобы использовать все преимущество широко-азимутальной природы данных по узлам.
- Добавленная стоимость четырехкомпонентных данных для связанных с флюидами исследований по ключевым областям наших месторождений.

В настоящий момент мы сосредотачиваемся на этих проблемах для обеспечения непрерывной эволюции этой перспективной технологии по направлению к полномасштабным работам.

### Благодарности

Мы благодарим Total E&P Angola за неоценимую поддержку в течение экспериментальной съемки с использованием узлов. Мы также благодарим Danny Hardouin (CGG) и Jean Luc Boelle (Total) за их помощь и идеи в течение фазы обработки данных.

### Ссылки на литературу

Boelle, J.L., Granger, P.Y., Ceragioli, E., Crouzy, E., and Lefevre, F. [2005] Autonomous 4C Nodes used in infill areas to complement streamer data. A deepwater case study. *75<sup>th</sup> Meeting, Society of Exploration Geophysics*, Expanded Abstracts.

Granger, P.Y., Manin, M., Boelle, J.L., Ceragioli, E., Lefevre, F., and Crouzy, E. [2005] Trials of autonomous 4C nodes in deep waters. *EAGE-SEG R&D Workshop 'Multicomponent Seismic - Past, present and future'*, Expanded Abstracts.