

О возможности одновременного проведения сейсморазведочных работ на шельфе с различными типами источников

■ Казанин А.Г., Литвачук А.В., Базилевич С.О., Сафонов Д.А, АО «МАГЭ», г. Москва

Аннотация. Высокая производственная активность недропользователей в части разведки, освоения и разработки шельфовых месторождений Российской Федерации становится существенным фактором, требующим учета при планировании и реализации сейсморазведочных работ. Типичным случаем является ситуация, когда в пределах одного лицензионного участка одновременно проводятся десятки различных операций – от выполнения сейсморазведочных работ до трубоукладки и бурения. В случае «наложения» различных работ в пространстве и времени приоритет в подавляющем числе случаев отдается строительству скважин и обустройству месторождения как наиболее ресурсоемким работам, что в целях достижения наибольшей эффективности производства съемки должно быть учтено на этапе планирования сейсморазведочных работ.

Нередкой ситуацией является и одновременное выполнение различных сейсморазведочных работ на ограниченной площади, что в обычном случае требует работы в режиме «деления времени», обеспечивающем отсутствие взаимной интерференции между источниками. Такой режим работы приводит к простоям судов и экономическим потерям как для заказчика, так и для исполнителя работ.

В мировой практике проведение сейсморазведочных работ в режиме наложения сигналов – в том числе и с использованием нескольких источников единой конфигурации (в рамках одной съемки) уже стало отраслевой нормой. Современные алгоритмы (*deblending*) позволяют эффективно разделить волновые поля от различных источников, что приводит к существенному ускорению производства полевых работ на шельфе. Подобных промышленных примеров на отечественном геофизическом рынке пока не получено, однако очевидно, что работа в режиме «смешивания» (*blending*) сигналов – основной путь в оптимизации сейсморазведочных работ на шельфе.

В статье показана возможность одновременного выполнения сейсморазведочных работ (СРР) с пневматическим источником значительного объема и сейсмоакустических наблюдений в варианте НЧ НСАП с источником типа спаркер, выполняемых в рамках инженерно-геофизических исследований (ИГИ) без ущерба информативности данных.

Ключевые слова: сейсмическая интерференция, пневмоисточник, спаркер, НСАП, сейсморазведка 3D4C, деблендинг.

Введение

Силами АО «МАГЭ» в навигационном сезоне 2023 г. на шельфе о. Сахалин были выполнены опытно-методические работы (ОМР), направленные на оценку возможности одновременного выполнения сейсморазведки 3D4C и непрерывного сейсмоакустического профилирования (НЧ НСАП) для целей изучения строения верхней части разреза.

Одновременно с работой судна-источника (шутера), используемого для сейсморазведочных работ 3D4C, с

помощью отдельного судна выполнена отработка ряда профилей с источником типа спаркер и буксируемой инженерной косой (48 каналов).

Полученные данные были проанализированы и обработаны на береговом Вычислительном Центре АО «МАГЭ».

Условия эксперимента

В качестве источника для НЧ НСАП использовался многоэлектродный электроискровой источник «Geo-Spark 400», работающий вместе с импульсным

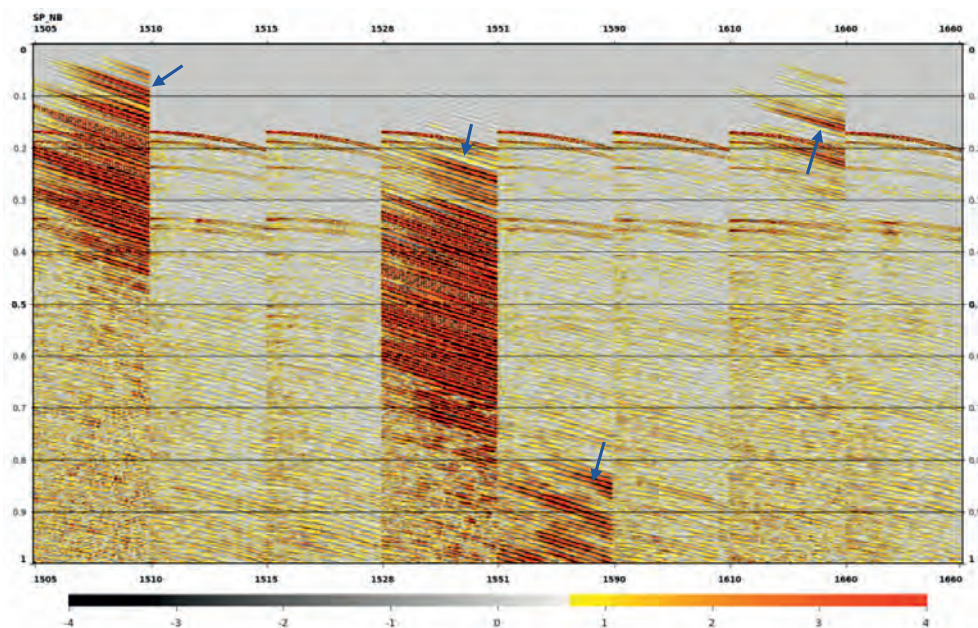


Рис. 1. Пример наблюдаемых сейсмограмм (стрелками отмечена интерференция).

генератором высокого напряжения «MultiJack-5000».

Для приёма и регистрации сигнала использовалась многоканальная пьезокоса XZone Bottom Fish Ultra Hi-Res 48 Channel Streamer (48 каналов с шагом 3.125 м, 3 гидрофона типа GH-4 в группе на базе 50 см, чувствительность гидрофона 200 мкВ/Па). Общая длина косы - 150 м (две активные секции). Номинальное заглубление приемников составляло 0.7 м. Для регистрации многоканальных сейсмоакустических данных использовалось программное обеспечение Seismic Station от компании «XZone».

Работы 3D4C велись с использованием пневматического источника (ПИ) со следующими характеристиками:

- групповой ПИ: BOLT 1500 LL, 1900 LLXT;
- количество ПИ: 2;
- сепарация между ПИ: 50 м;
- глубина буксировки: 6 м;
- рабочий объем: 3470 куб. дюймов;
- рабочее давление: 2000 psi $\pm$ 10%

В ходе выполнения ОМР расстояние между судами регулировалось только общими требованиями к безопасности судовождения и зоной безопасности для активной расстановки донных модулей.

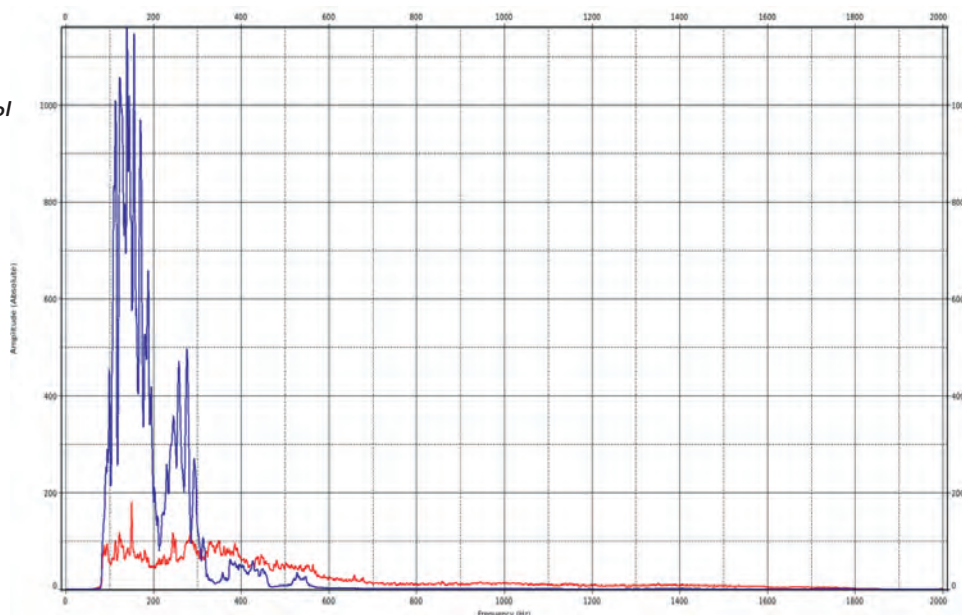
Оценка полученных данных

В ходе анализа результатов эксперимента влияния высокочастотного источника (спаркера) на сейсмическую запись донных регистраторов не обнаружено, что в первую очередь обусловлено малой энергией источника и интенсивным затуханием высоких частот с расстоянием.

Для случая регистрации с помощью буксируемой инженерной косы полученные данные, напротив, значительно осложнены высокоамплитудной сейсмической интерференцией (Рис. 1). За счет различных интервалов ПВ возбуждение сейсмических колебаний для съемки 3D4C производилось (в среднем) каждые 6 с, а для НСАП - 1 с, следствием чего является значительная интерференционная энергия только на каждом шестом ПВ данных инженерной сейсмической записи. При этом, наложение сигнала обнаруживается и на последующих ПВ за счет регистрации энергии пневмоисточника с более поздних времен. Нерегулярность помехи от ПВ к ПВ – важное свойство, которое может быть использовано для ее подавления.

С точки зрения кинематики интерференционные волны-помехи представля-

► Рис. 2. Амплитудно-частотные спектры для ПВ1505 – с интерференцией (синий) и ПВ1510 – без интерференции (красный), рассчитанные в окне 0-500 мс.



ют собой линейные сейсмические события, направление прихода и кажущаяся скорость которых зависит от взаимного расположения судов и текущего курса обработки профиля.

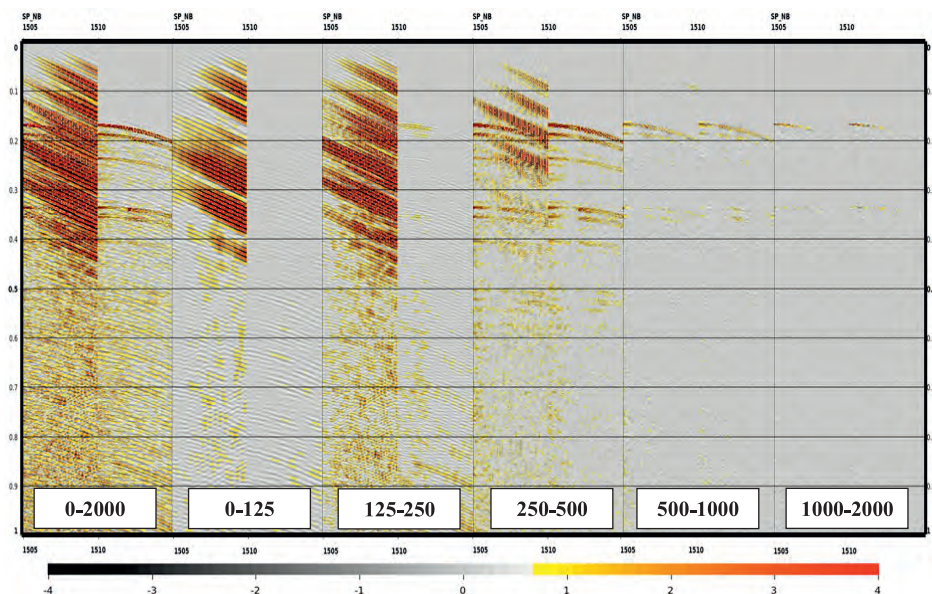
Оценка спектров для сейсмограмм с помехой и без (в окне 0-500 мс) показывает, что уровень энергии интерференции превосходит по амплитуде уровень сигнала для среднестатистической зарегистрированной сейсмограммы НЧ НСАП не менее чем в 10 раз (Рис. 2). Декомпозиция записи на частотные панели показывает, что интерференция сосредоточена в широком диапазоне

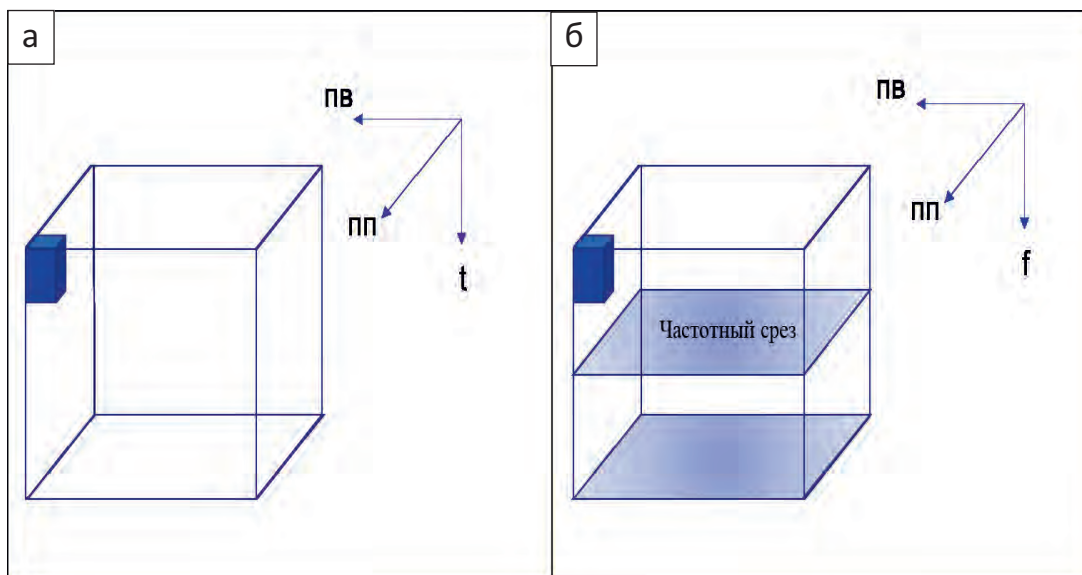
частот, а максимум интерференционной энергии сосредоточен на частотах до 250 Гц (Рис. 3).

При этом основная энергия полезного сигнала (отраженных волн) регистрируется в полосе 250-500 Гц – т.е. сигнал и помеха в значительной степени разнесены в частотной области, что может быть использовано для повышения эффективности разделения наложенных сигналов.

Несмотря на это, до частоты 500 Гц помеха по уровню превалирует над полезным сигналом, соотношение сигнал/шум – 1 и ниже. В общей практике производства сейсморазведочных работ

► Рис. 3. Разложение сейсмограммы с помехой (ПВ 1505) и без (ПВ 1510) на частотные диапазоны.





▲ Рис. 4. Схема организации данных для работы алгоритма
а) массив данных в области t - x - y , б) массив данных в области f - x - y .

такая запись должна признаваться браком и исключаться из обработки. Тем не менее, современные алгоритмы и подходы к обработке могут быть эффективно применены для решения обозначенной проблемы.

Методика подавления интерференции

Представленная в работе методика подавления интерференции основывается на свойстве сигнала, который когерентен на сейсмограмме ОПВ и от ПВ к ПВ, в то время как помехи, вызванные сейсмической интерференцией, являются когерентными на ОПВ, но некогерентными от ПВ к ПВ, что обеспечено различным интервалом работы источников. На практике это означает, что если организовать наблюдаемые данные на некоторой базе ПВ в трехмерный массив в области t - x - y (ПВ, ПП, время), а затем преобразовать полученный массив в область f - x - y и применить фильтрацию для приведения аномальных амплитуд частотного среза к рассчитанному среднеквадратическому значению, то можно устранить в данных сейсмические события (в рассматриваемом случае – интерференцию от пневмо-

источника), которые являются аномальными на взятой базе ПВ (Рис. 4).

Предлагаемый подход к подавлению интерференции показал свою высокую эффективность – побочная энергия практически полностью подавляется (Рис. 5), при этом утечки полезного сигнала не наблюдается.

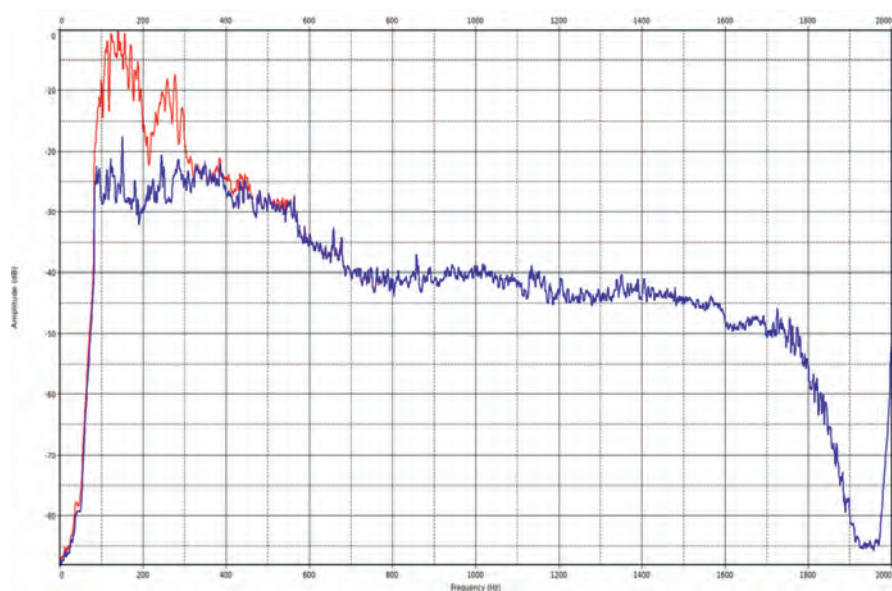
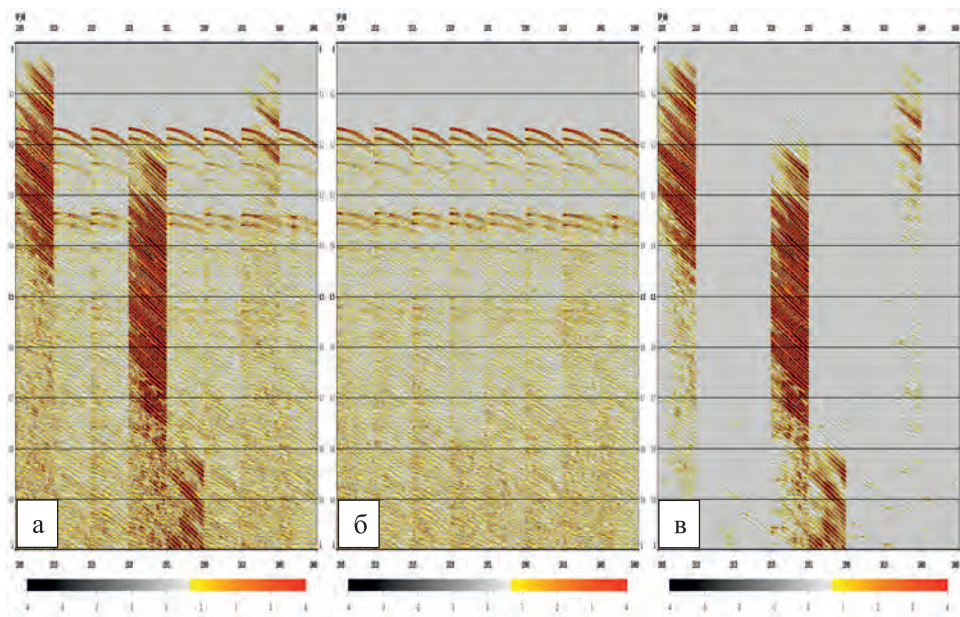
Итоговое сейсмическое изображение (Рис. 7) полностью избавлено от влияния помехи может быть проинтерпретировано без потери качества.

Выводы

На основе выполненных опытно-методических работ показано, что:

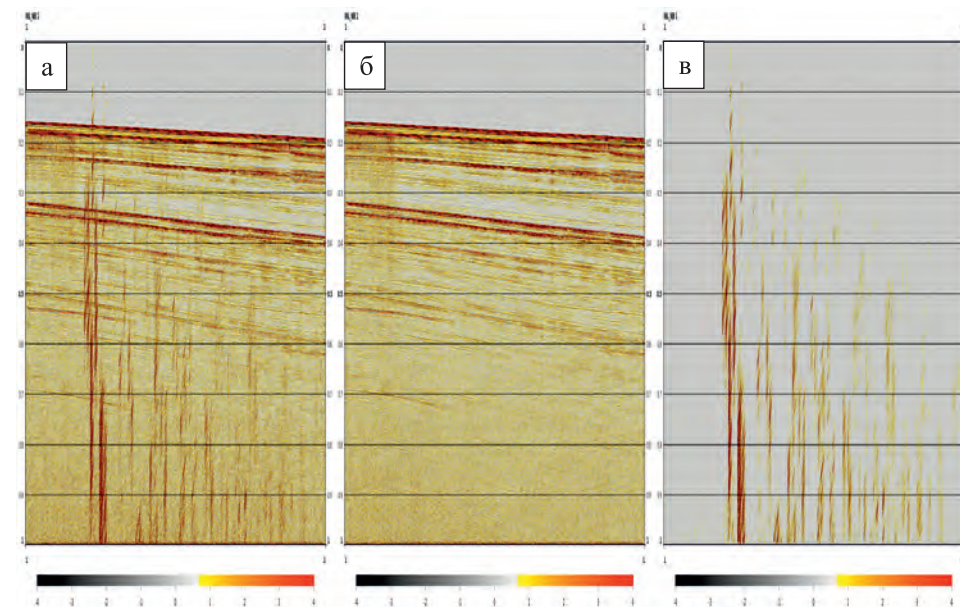
- выполнение инженерно-геофизических работ с источником типа спаркер полностью безопасно для данных, регистрируемых при СРР с пневматическим источником. Влияние высокочастотного источника на сейсмическую запись не обнаруживается;
- выполнение инженерно-геофизических работ влияет на данные СРР только на уровне генерации собственных шумов судна, т.е. требуется предусмотреть разделение по расстоянию аналогично требованиям к любым иным

▶ Рис. 5. Результат подавления интерференции для сейсмограмм ОПВ, а) исходные данные, б) результат подавления, в) разница



▶ Рис. 6. Амплитудно-частотные спектры ПВ 1505 до подавления интерференции (красный) и после (синий) для всей длины записи.

▶ Рис. 7. Результат подавления интерференции на суммарных разрезах ОСТ. а) исходные данные, б) результат подавления, в) разница.



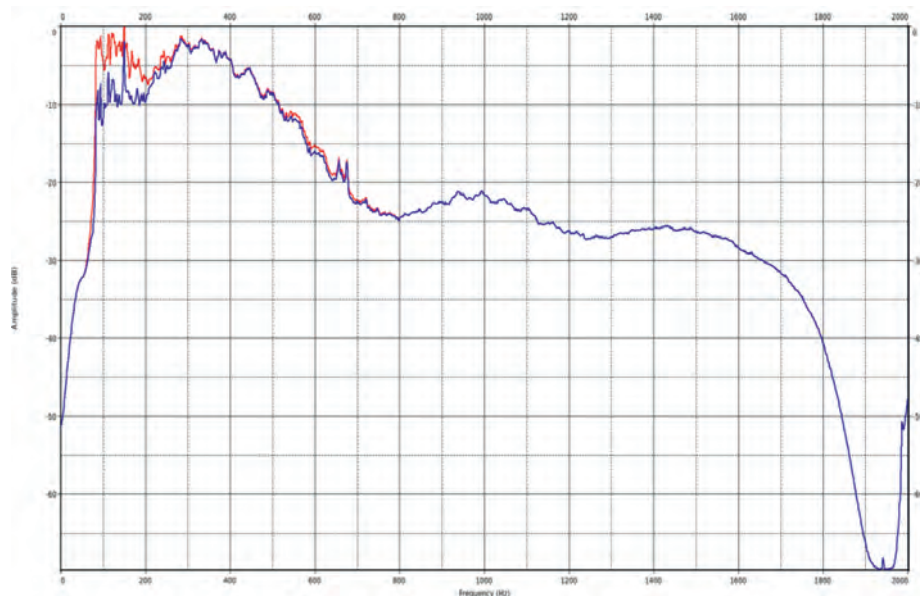


Рис. 8. Амплитудно-частотные спектры суммарных разрезов ОСТ до подавления интерференции (красный) и после (синий) для всей длины записи.

судам в районе проведения работ;

- энергия пневмоисточника превалирует над энергией спаркера, увеличение расстояния между судами ИГИ и СРР не имеет практического смысла – в рамках локального объекта (лицензионного участка) интерференция будет наблюдаться на любых расстояниях;

В работе показано, что интерференционная энергия пневмоисточника, зарегистрированная на данных инженерно-геофизических исследований, может быть эффективно подавлена современными алгоритмами обработки, а полученное итоговое изображение среды – полностью удовлетворяет целям и задачам изучения ВЧР.

Таким образом, совмещение различных видов сейсмических и акустических исследований без необходимости работы в режиме деления времени может быть рекомендовано к дальнейшему внедрению в производство. В ряде случаев это существенным образом скажется на оптимизации полевых работ и, как следствие, их общей экономической эффективности, что в конечном итоге уменьшает общие издержки недропользователя при освоении шельфовых месторождений.

Литература

1. Gulunay, N., Magesan, M. and Baldock, S., 2004. Seismic interference noise attenuation. S.E.G. 74th Ann. Internat. Mtg., Expanded abstracts