

## КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ КАРЬЕРНОГО ВЗРЫВА КАК ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

*Сергей Александрович Ефимов*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник, тел. (913)906-59-29, e-mail: sergesaesa@yandex.ru

В статье представлен качественный анализ карьерного взрыва как источника сейсмических волн. Предложен подход улучшения качества сейсмограмм в дальней зоне путем использования записи взрыва в ближней зоне в качестве ядра. Эффективность предложенного подхода показана на примере обработки экспериментальной сейсмической записи.

**Ключевые слова:** карьерный взрыв, сейсмическая запись, волновая зона, ядро преобразования, метод обработки.

## QUALITATIVE ANALYSIS OF CAREER BLAST AS THE SOURCE OF SEISMIC WAVES

*Sergey A. Efimov*

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Researcher, phone: (913)906-59-29, e-mail: sergesaesa@yandex.ru

The article presents a qualitative analysis of the quarry explosion as a source of seismic waves. An approach to improving the quality of seismograms in the far zone by using near-zone explosion recording as a core is proposed. The effectiveness of the proposed approach is shown on the example of experimental seismic record processing.

**Key words:** career blast, seismic recording, wave zone, the core of the transformation processing method.

### *Введение*

Постановка задачи. Вопрос использования энергии промышленных взрывов в качестве зондирующих сигналов для проведения исследовательских геофизических работ, связанных с изучением литосферы земли, привлекает внимание геофизиков на протяжении многих лет. Технология проведения геофизических работ включает в себя процедуру построения сейсмограмм. В естественном виде (непосредственная регистрация колебаний поверхности земли) качество сейсмограмм не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Поэтому используется согласованный или оптимальный приемник, осуществляющий дополнительную обработку данных регистрации по следующему алгоритму:

$$q(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot R(t - \tau) \cdot d\tau \quad (1)$$

где  $s(t)$  – сигнал на входе приемника;  $R(t)$  – ядро преобразования;  $q(t)$  – сигнал на выходе приемника.

В работе [1] показано, что при использовании согласованного или оптимального приемника для выделения зондирующего сигнала из шума можно получить отношение наибольшего значения сигнальной функции на выходе приемника к среднеквадратическому значению выходного шума равное:

$$q_{s.\max}(\tau_0)/\sqrt{D_n} = \sqrt{2E/N}; \quad (2)$$

где  $E$  – энергия сигнала;  $N$  – спектральная плотность шума.

При этом ядро преобразования для оптимального фильтра должно удовлетворять условию [1]:

$$R(t - \tau) = s_0(t - \tau). \quad (3)$$

где  $s_0(t)$  – функция зондирующего сигнала, формируемого распределенным карьерным взрывом в однородной среде в волновой зоне.

### ***Методы и материалы***

Распределенный карьерный взрыв как физическое явление представляет собой сложный процесс формирования сейсмической волны. По аналогии с атомным взрывом пространство формирования ударной и сейсмической волны разделяется на две области: области нелинейных и линейных деформаций. Для получения сейсмограммы от карьерного взрыва в дальней зоне по формуле (1) необходимо иметь ядро преобразования  $R(t)$ . Построение математической модели этого ядра является задачей нетривиальной. Поэтому более конструктивным подходом для решения этой задачи, по мнению автора, является экспериментальное измерение сейсмического сигнала в ближней волновой зоне с дальнейшим использованием его в качестве функции ядра.

Исследование сейсмического сигнала.

На рис. 1 представлена запись карьерного распределенного взрыва в волновой зоне в районе Бачатского угольного разреза Кемеровской области. Для регистрации использована сеймостанция «РОСА» и трехкомпонентный сейсмометр СК1-П. Время регистрации – 10 августа 2001 г. Взрыв формируется из 220 скважин по 180 кг взрывчатого вещества в каждой скважине. Одновременно взрываются 10 скважин. Время между взрывами – 25-30 мс. Значение общего времени взрыва находится в диапазоне 550 – 660 мс. Среда взрыва – угольный блок.

На рис. 2 представлена запись карьерного распределенного взрыва в дальней зоне в районе Быстровского полигона Новосибирской области. Сеймостанция – ВИРС-М. Количество сейсмометров СК-1П - 5.

На рис. 3 представлены результаты обработки по формуле (1) сейсмических сигналов в дальней зоне. При этом в качестве ядра преобразования использована экспериментальная запись карьерного взрыва в ближней зоне, соответствующая рис. 1.

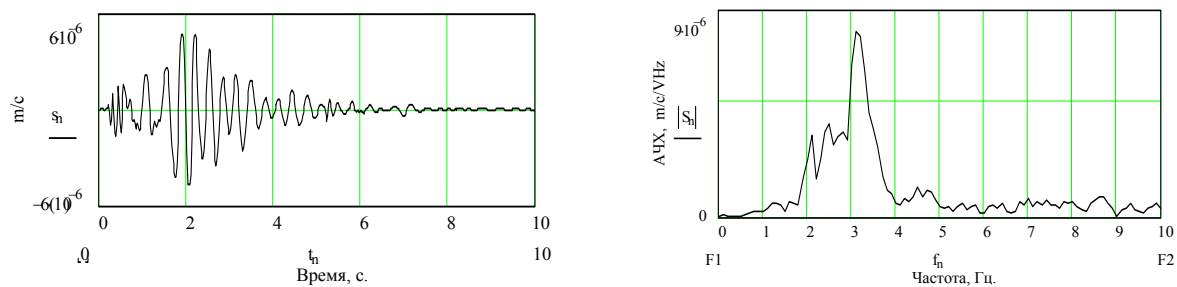


Рис. 1. Сейсмический сигнал от карьерного взрыва в волновой зоне, сейсмометр СК1-П №1, Z компонента (рис. слева); спектральная характеристика сейсмического сигнала (рис. справа)

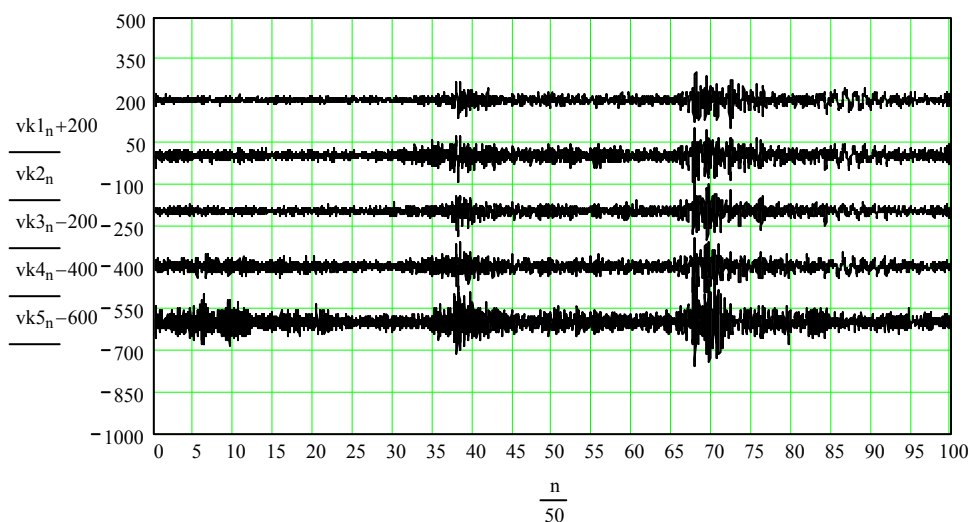


Рис. 2. Сейсмический сигнал от карьерного взрыва в дальней зоне, 5 сейсмометров СК1-П, Z компонента. Расстояние между сейсмометрами 200 м

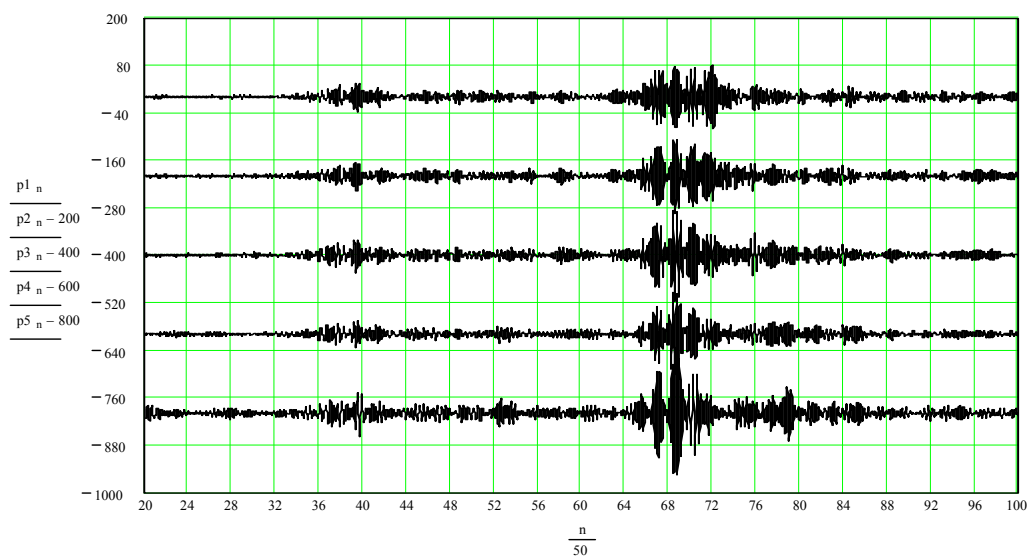


Рис. 3. Результаты обработки сейсмического сигнала от карьерного взрыва в дальней зоне, 5 сейсмометров СК1-П, Z компонента. Расстояние между сейсмометрами 200 м

Сравнение сейсмических сигналов от карьерного взрыва в дальней зоне по рис. 2 с результатами обработки этих сигналов (рис. 3) показывает целесообразность предлагаемого способа обработки с целью повышения достоверности определения времени вступления сейсмических волн. На следующих рисунках показаны графики сейсмограмм, на которых выделены временные интервалы, соответствующие первым вступлениям сейсмических волн.

Для успешного использования записей взрыва в ближней зоне при формировании сейсмограммы необходимо провести регистрацию взрыва в волновой зоне. Граница раздела нелинейных и линейных деформаций находится на определенном расстоянии от точки или области взрыва. Исследователь расставляет сейсмометры для регистрации взрыва в ближней зоне, учитывая мощность, геометрию взрывных скважин и характеристику среды. При этом всегда существует неопределенность, которая может привести к ситуации, когда часть сейсмометров регистрируют сигнал в нелинейной зоне, а часть сейсмометров – в линейной (волновой) зоне. Для анализа данных регистрации с целью определения: относится сигнал к волновой зоне или зоне деформации, - можно использовать следующую функцию:

$$G(\omega, \tau) = [Re\{S(\omega) \cdot e^{j\omega \cdot \tau}\}]^2. \quad (4)$$

Использование этой функции для анализа записей взрыва позволяет формировать своеобразную «голограмму», вид которой достаточно точно идентифицирует область регистрации – волновая или область деформации. В качестве примера рассмотрим «голограммы» записи карьерного взрыва двух сейсмометров, полученных в соответствии с формулой (4). При этом один сейсмометр располагался ближе к точке взрыва. На рис. 4 показаны «голограммы» карьерных распределенных взрывов и соответствующие им временные сигналы в волновой зоне (слева) и на границе нелинейная - линейная область (справа). Место регистрации: район Бачатского угольного разреза Кемеровской области, сейсмостанция «РОССА», трехкомпонентный сейсмометр СК1-П, Z компонента, дата регистрации – 10.08.2001. Ось ординат рис. 4 соответствует аргументу  $\omega$  и имеет масштаб 0,1\*Гц. Ось абсцисс рис. 5 соответствует аргументу  $\tau$  и имеет масштаб 0,02\*с.

Особенностью «голограммы» распределенного карьерного взрыва в точке регистрации, соответствующей волновой зоне, является наличие определенной структурности рисунка - единства структурного рисунка, - и концентрация энергии сигнала в небольшом частотном диапазоне, в данном случае в диапазоне от 2 до 4 Гц. На «голограмме» распределенного карьерного взрыва на границе нелинейная - линейная область видно нарушение единства рисунка структуры и расширение частотного диапазона. В качестве примера «голограммы» записи карьерного взрыва в зоне деформации (нелинейная область), рассмотрим запись карьерного взрыва в районе поселка Таштагол Кемеровской области, дата регистрации – 26.06.2004. На рис. 5 показаны «голограммы» карьерного распределенного взрыва и соответствующие им временные сигналы с сейсмометров, расположенных в зоне деформации (нелинейная область).

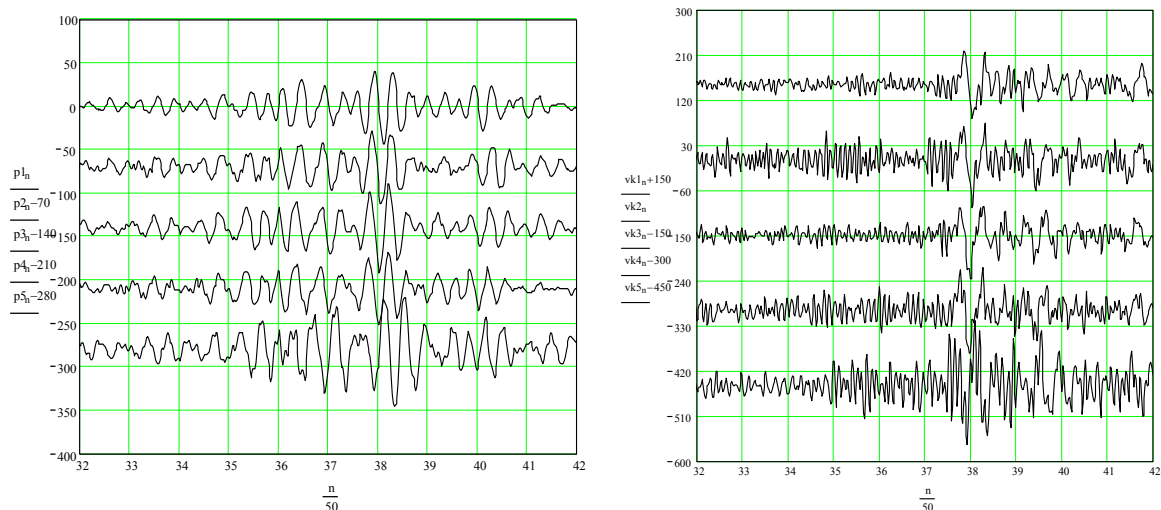


Рис. 4. Сейсмограмма после обработки сейсмического сигнала от карьерного взрыва в дальней зоне (слева); сейсмограмма без обработки сейсмического сигнала (справа). Первое вступление волн – 38 с

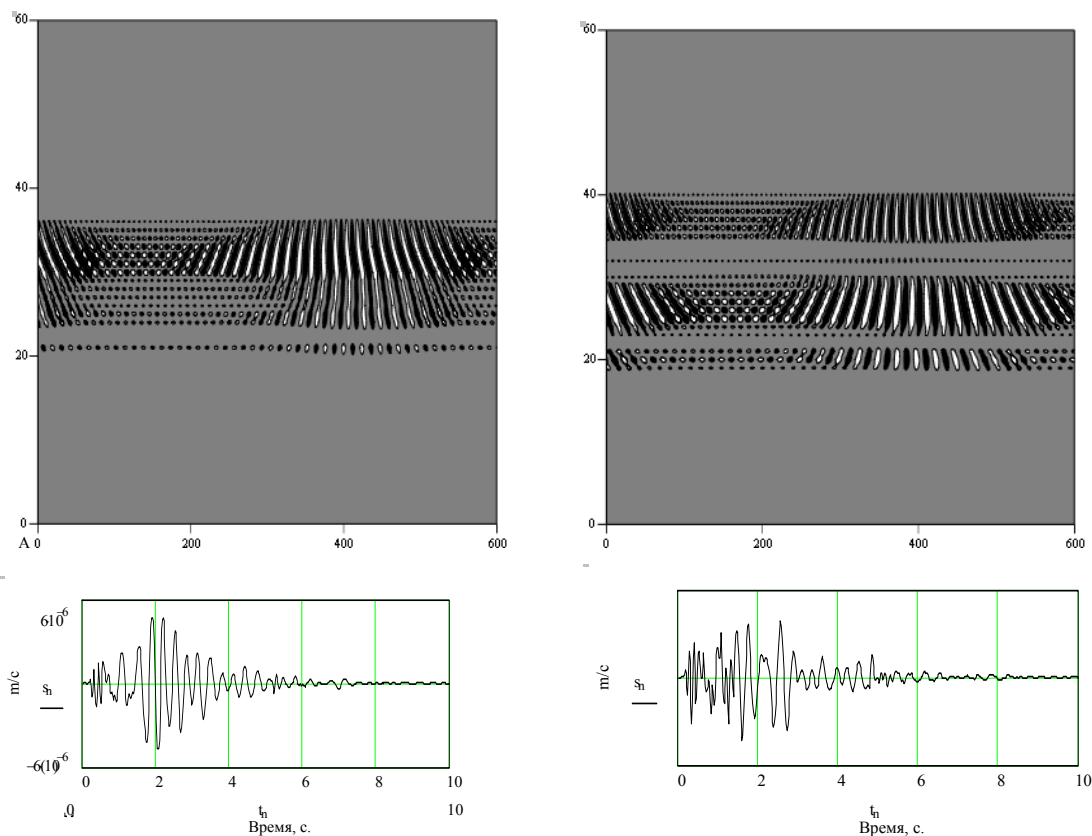


Рис. 5. «Голограммы» карьерного распределенного взрыва и соответствующие им временные сигналы в волновой зоне (слева) и на границе нелинейная – линейная область. Место регистрации: район Бачатского угольного разреза Кемеровской области, Z компонента, сейсмостанция «РОССА», дата регистрации – 10.08.2001

Представленные на рис. 6 «голограммы» карьерного взрыва объективно характеризуют место расположения сейсмометров как нелинейную область — зону деформации. На всех «голограммах» распределенного карьерного взрыва, зарегистрированного в нелинейной зоне деформаций, видно нарушение единства рисунка структуры и существенное расширение частотного диапазона.

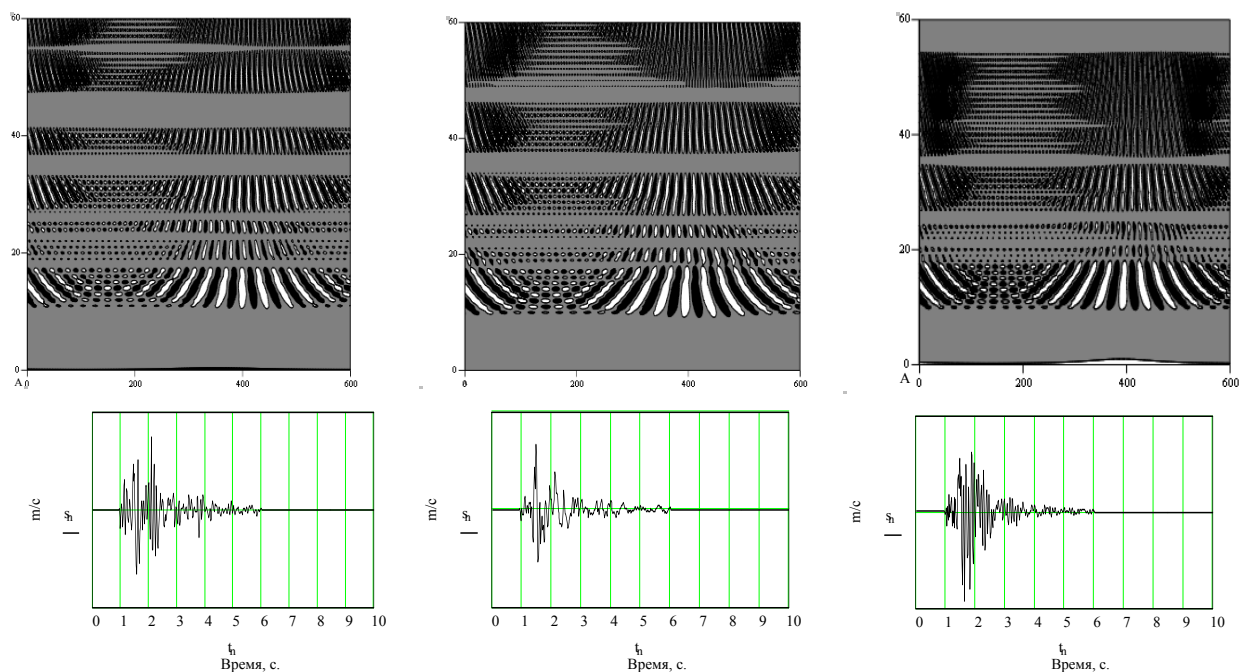


Рис. 6. «Голограммы» карьерного распределенного взрыва.  
Место регистрации: район поселка Таштагол Кемеровской области,  
дата регистрации – 26.06.2004

## Результаты

В ходе исследования экспериментальной сейсмической записи карьерного взрыва в ближней и дальней зоне установлены особенности спектральных характеристик распределенного взрыва. Использование записи карьерного взрыва в ближней зоне в качестве ядра преобразования приводит к повышению качества синтетической сейсмограммы в дальней зоне. Предложенный способ идентификации нелинейных и линейных (волновых) зон дает исследователю возможность выбора качественных записей взрыва для формирования ядра преобразования.

## Обсуждение

Эффективность использования карьерных взрывов при решении задач геофизики зависит от местоположения регистраторов в ближней зоне. Для повышения качества сейсмограмм в дальней зоне важно получить запись взрыва

в волновой зоне, которая будет использована в качестве ядра преобразования. Представленный алгоритм формирования «голограммы» взрыва является эффективным инструментом выбора волновой зоны.

### ***Заключение***

Предложенный способ обработки позволяет формировать более качественные «взрывные» сейсмограммы с использованием функции ядра преобразования, полученной на основе экспериментальных данных. Увеличение качества сейсмограмм для точек регистрации в дальней зоне обусловлено дополнительной фильтрацией за счет использования процедуры свертки. «Голограммы» карьерных взрывов, полученные с использованием функции (4), представляют для исследователя полезный и оперативный инструмент анализа качества сейсмических данных. Представленный в данной работе способ обработки позволяет более эффективно использовать энергию промышленных взрывов для проведения исследовательских геофизических работ, связанных с изучением литосферы земли.

### ***Благодарности***

Автор выражает благодарность всем участникам научных семинаров лаборатории геофизической информатики ИВМиМГ СО РАН, в атмосфере которых формировалась постановка задач и проблем обработки сигналов в геофизике.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
2. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. М. Изд-во «Советское радио», 1972, 352 с.
3. Сильвия М.Т. Робинсон Э.А. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. – Пер. с англ. М.: Недра, 1983, 1983, - 447 с.

© С. А. Ефимов, 2018