

Вибросейсмическая полевая методика одновременного применения нескольких оптимизированных под геологию нелинейных свип сигналов. Свип сигнал Qwell

- Адиев Т.Р., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.
- Шулыкин Д.А., ООО «НПЦ Геостра», г. Уфа.

Аннотация. Цель данной статьи – продемонстрировать преимущества одновременного применения нескольких сигналов совершенно нового вида, названных Qwell свипами, компенсированных за последующее как упругое, так и неупругое поглощение среды. Результаты были получены сейсмической партии №12 АО «Башнефтегеофизика» при проведении опытно-методических работ МОГТ-2D в Волгоградской области. Качество полевого материала значительно повышено без привлечения дополнительных технических средств, с сохранением времени отработки одного физического наблюдения. Работа является продолжением серии публикаций, связанных с повышением эффективности проведения сейсморазведочных изысканий, за счет учета геологических особенностей места проведения работ непосредственно в свип сигнале.

Ключевые слова: полевые сейсморазведочные работы МОГТ-2D, адаптивные сигналы, учет геологии, Qwell свип, повышение эффективности.

Keywords: field seismic exploration CDP-2D, adaptive signals, geology accounting, Qwell sweep, efficiency improvement.

Введение

По мере распространения сейсмической волны через среду, ее упругая энергия постепенно затухает. Наиболее значимой причиной частотных и фазовых искажений полезного сигнала, приводящих к понижению временной и динамической разрешенности сейсмической записи, является поглощение энергии геологической средой, подразделяющееся на два вида – упругое и неупругое.

Неупругое поглощение возникает из-за движения жидкости (флюида) и трения между зернами скелета, при этом высокие частоты поглощаются значительно сильнее, по экспоненциальной зависимости (рис. 1). Для данного физического механизма эффекты частотно-зависимого затухания амплитуды могут быть удобно объединены в один безразмерный параметр Q , который количественно определяет влияние неупругого поглощения на сейсмический импульс, являясь обратной величиной относи-

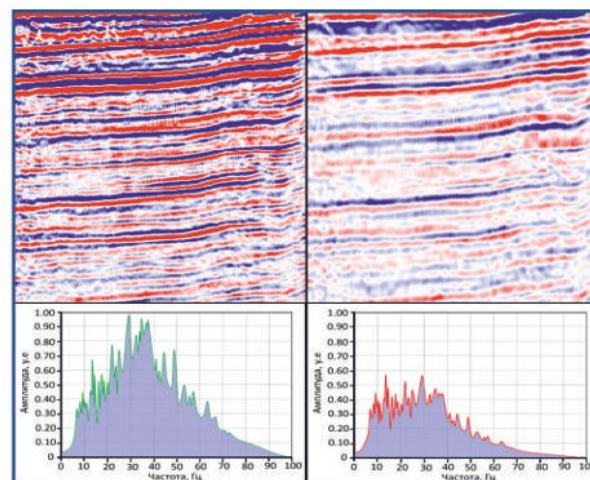
тельных потерь энергии волны ($E/\Delta E$) на периоде колебаний:

$$Q = 2\pi E/\Delta E$$

Тогда влияние на амплитудный спектр волны на частоте f и времени пробега T будет равно:

$$S_f = \exp\left(\frac{\pi f T}{Q}\right)$$

▼ Рис.1. Сейсмограммы до и после компенсации неупругого поглощения.



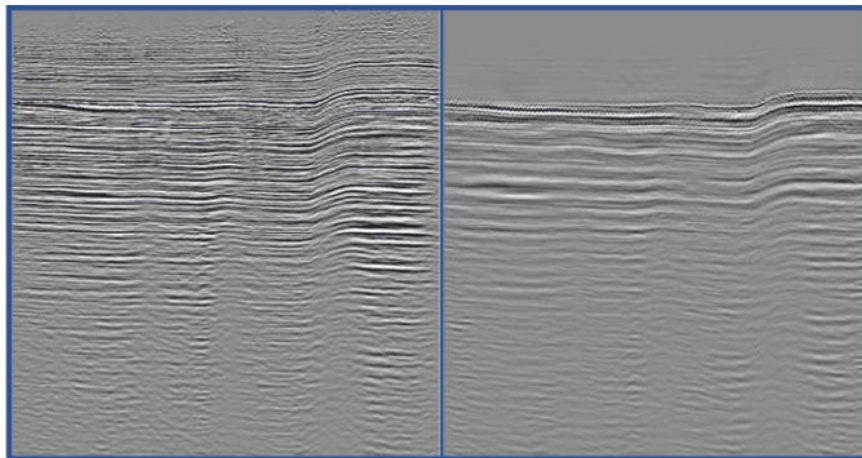


Рис.2.
Образование сложной интерференционной картины (слева – полное волновое поле, справа – поле кратных волн).

Упругое рассеяние (поглощение) происходит на изолированных (объемных) и вертикальных микронеоднородностях – тонких контрастных слоях. Энергия волнового процесса в системе сохраняется (перехода энергии в тепло не происходит), но перераспределяется в пространстве, вызывает видимое частотно-зависимое затухание проходящих волн, а также появление сложной интерференционной картины на всей длине записи (рис. 2).

Свип компенсированный за упругое рассеивание и неупругое поглощение – Qwell свип

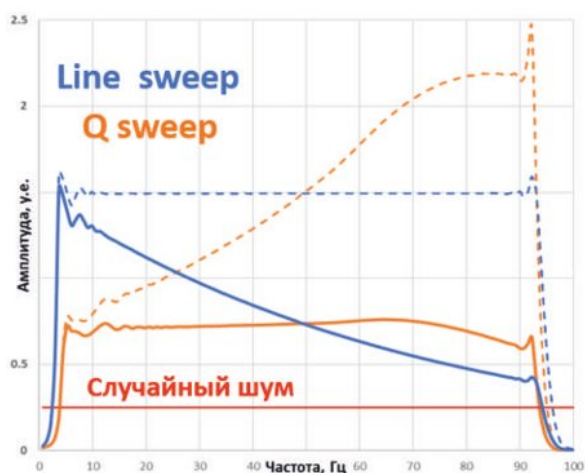
Учитывая изложенное, представляется целесообразным заложить компенсацию последующего влияния геологической среды, вызывающего неупругое поглощение и упругое рассеивание, непосредственно в сигнале. Сигналы такого вида получили название Qwell sweep.

Преимущества предварительной компенсации неупругого поглощения на этапе сейсмических работ с помощью сигналов, полученных на основе Q-фильтров (Q свипов), уже были продемонстрированы как на модельных, так и на полевых данных в работах [1, 2]. Основная идея метода заключается в заложении геологически обоснованного

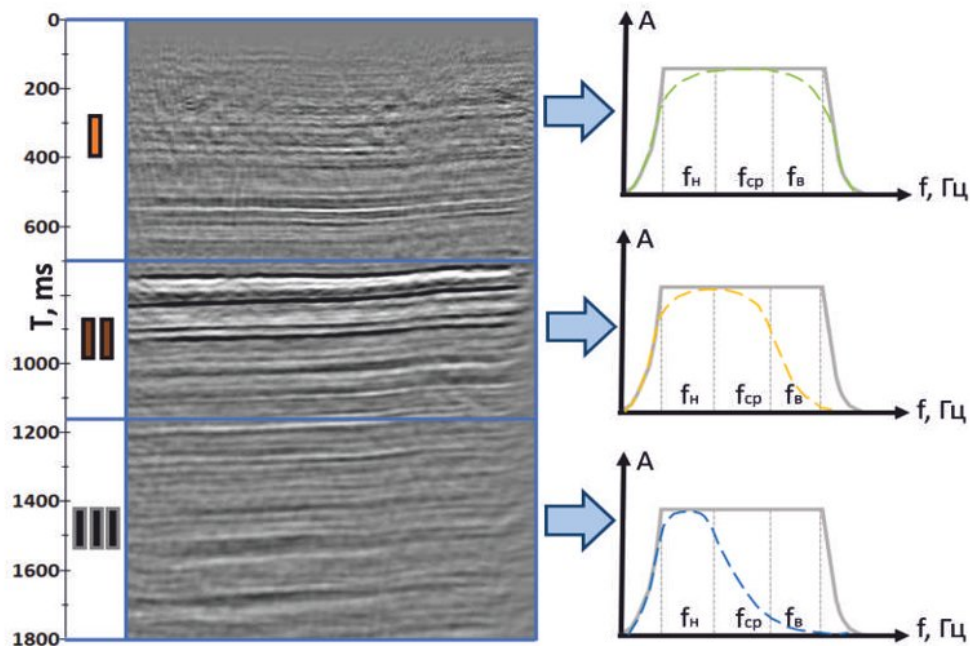
перераспределения энергии в сторону высоких частот, дающего более равномерный амплитудный спектр отражений по отношению к случайному шуму (рис. 3), что значительно повышает качество сейсмической записи.

Для этого в качестве априорной информации используется временной разрез с неизменными амплитудно-частотными характеристиками с места проведения ОМР, полученный при использовании стандартного линейного свип-сигнала (рис. 4). В нашем случае разрез в следствие изменчивости свойств слоев был разделен на три обобщенных сейсмических комплекса: ВЧР, твердые породы, не содержащие

Рис.3. Амплитудный спектр сигналов. Синие линии – линейный амплитудный спектр, оранжевый – Q sweep, пунктир – до влияния среды, сплошная линия – после.



► Рис. 4.
Априорный
временной
разрез.



углеводородов и целевой интервал. Каждый из них характеризуется своим интервальным параметром поглощения, для каждого из которых был подобран свой оптимальный Q - фильтр ($Q=50$, $Q=100$, $Q=150$), восстанавливающий только ту часть спектра, которую возможно зарегистрировать на данной глубине при уровне амплитуд сигнала выше амплитуды случайных шумов.

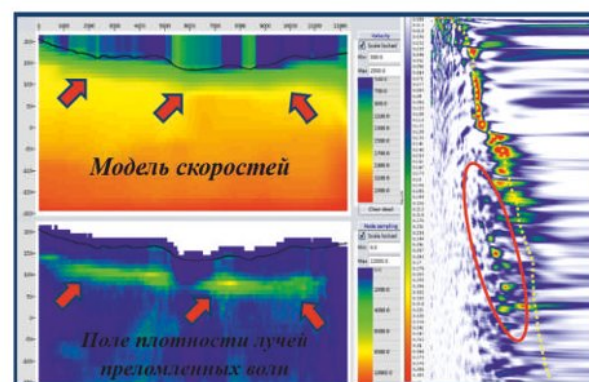
Опытно-методические работы проводились в Волгоградской области в пределах площади со сложным геологическим строением. Повсеместно присутствуют высококонтрастные по скоростным характеристикам пласты, в значительной мере осложняющие волновую картину интерференционными эффектами, в том числе такой пласт повсеместно развит в верхней части разреза на глубинах около 100 м (рис. 5). Эффект неупругого перераспределения энергии можно оценить по сейсмограмме ВСП скважины, находящейся в непосредственной близости к месту проведения работ [3]. Если извлечь импульс прямой продольной падающей волны в каждом из интервалов глубин, заметно что форма сигнала значительно осложнена побочными

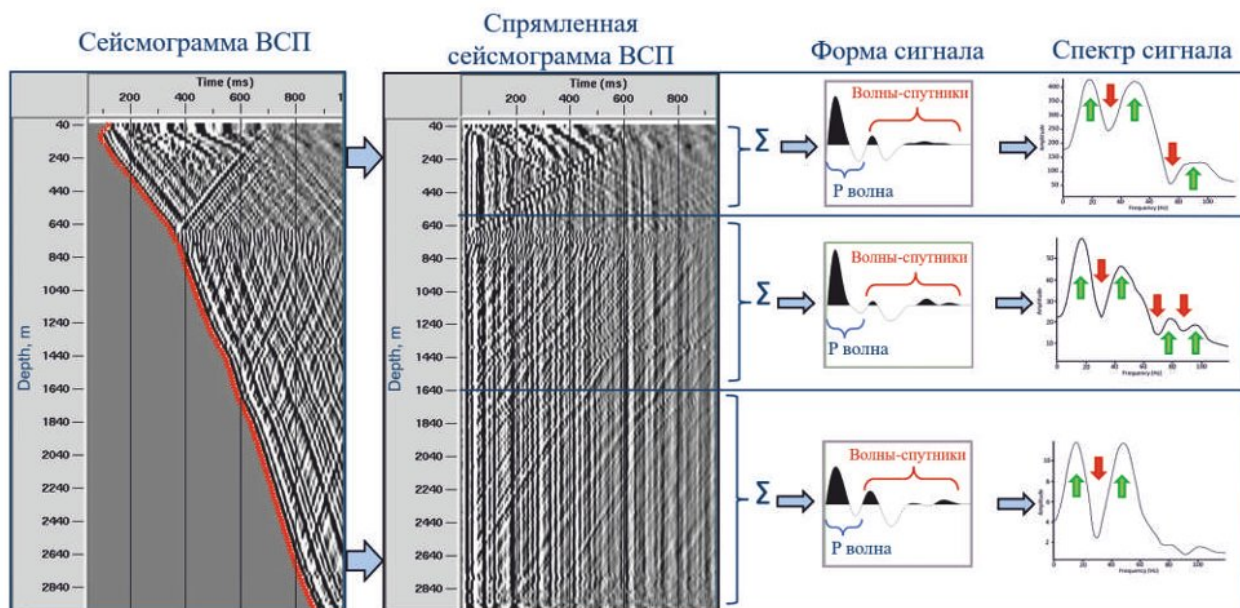
максимумами (рис. 6), на амплитудном спектре это выражается в аномальном уменьшении энергии (выделено красными стрелками) в некоторых интервалах частот и в аномальном увеличении в других (выделено зеленым).

Создав обратные нормированные фильтры на основе спектров продольной падающей волны и применив их к сейсмограммам ВСП, мы смогли уменьшить амплитуду побочных максимумов более чем в 5 раз (рис. 7).

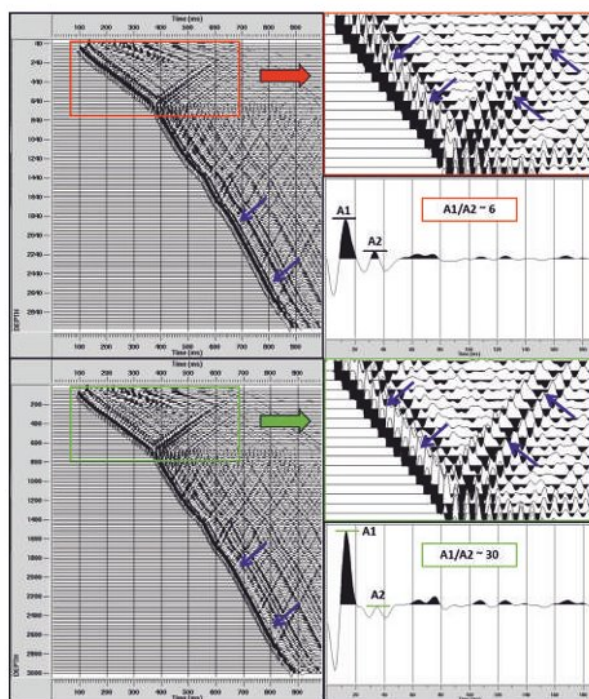
Отличительная особенность такого подхода к учету упругого рассеивания заключается в том, что регистрация сигнала при ВСП происходит непосредственно в среде, что позволяет оценить

▼ Рис. 5. Модель ВЧР места проведения.





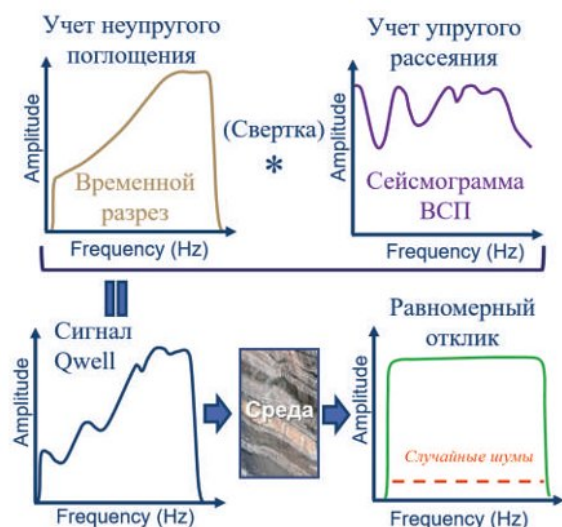
▲ Рис. 6. Оценка упругого рассеивания.



▲ Рис. 7. Сейсмограмма ВСП до и после применения фильтров учета упругого рассеивания.

влияние волн спутников только на полезную продольную падающую волну, а не на все волновое поле.

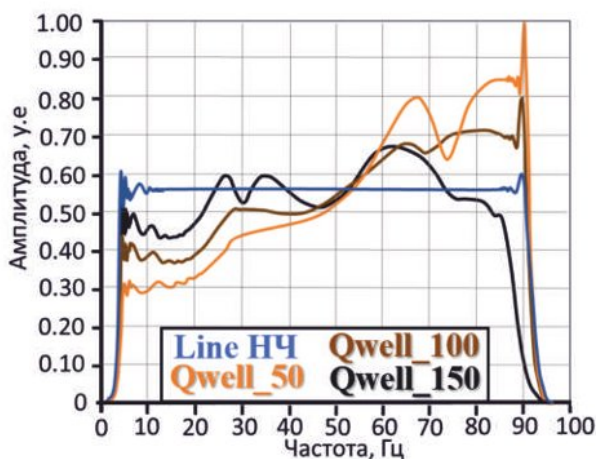
Следующим шагом является объединение фильтров, учитывающих упругое и неупругое поглощение в каждом из интервалов в единые свип сигналы,



▲ Рис. 8. Получение свип сигнала Qwell.

названные Qwell. Итогом предполагается получение более гладкого, прямоугольного отклика от прошедшего через среду сигнала, чем при использовании стандартного линейного свипа (рис. 8).

Применение на одной площади нескольких оптимизированных под свой интервал глубин сигналов (рис. 9) требует изменения методики отстрела. В новой методике происходит чередование трех свип сигналов. Так при стандартном шаге ПВ в 50 метров, каждый свип сигнал будет отрабатываться через 150 м (Рис. 10).



▲ Рис. 9. Свип сигналы Qwell.

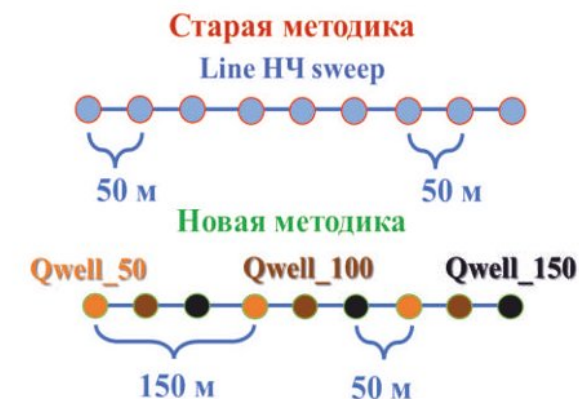
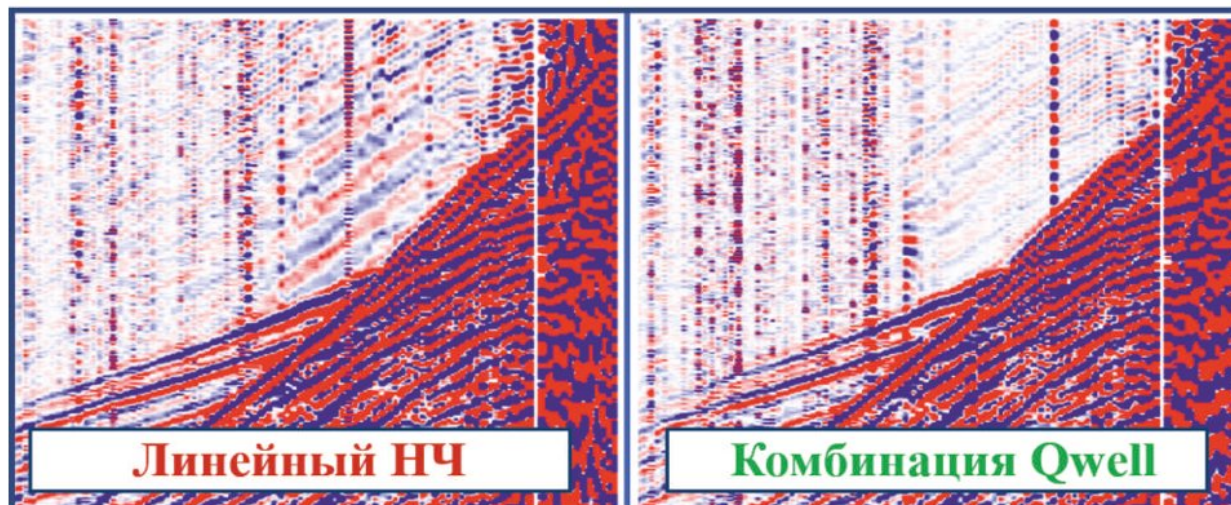
Ниже приведено упрощенное математическое описание АКФ свип сигнала от времени t :

$$\text{АКФ} = \frac{\sin(\pi \Delta F t)}{\pi \Delta F t} \cos(2\pi t F_{\text{ср}})$$

Из нее следует, что форма отражений зависит от двух переменных – ширины спектра ΔF и средней энергетической частоты сигнала $F_{\text{ср}}$. У Qwell свипов при распределении энергии в сторону высоких частот остается неизменной ширина спектра, но растет средняя энергетическая частота сигнала.

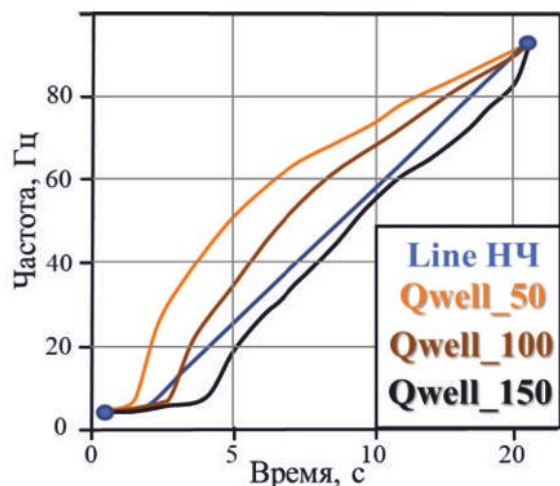
Из нее следует, что форма отражений зависит от двух переменных – ширины спектра ΔF и средней энергетической частоты сигнала $F_{\text{ср}}$.

▼ Рис. 11. Уменьшение уровня корреляционных шумов.



▲ Рис.10. Сравнение методик отстрела.

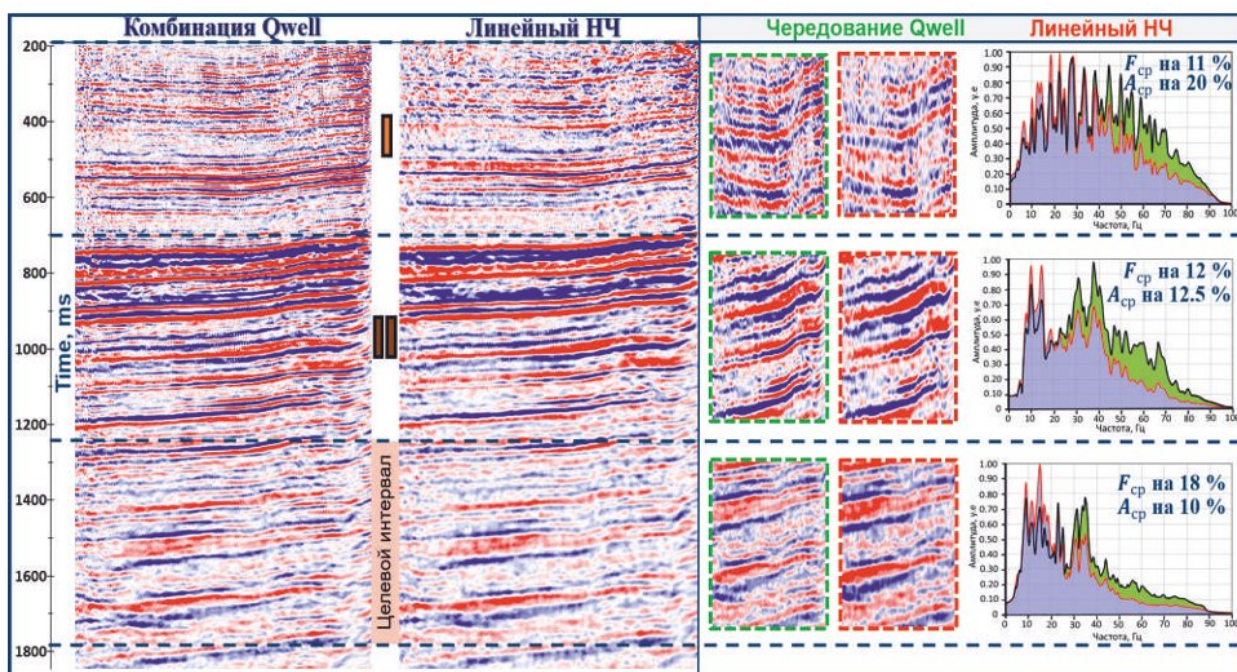
У Qwell свипов при распределении энергии в сторону высоких частот остается неизменной ширина спектра, но растет средняя энергетическая частота сигнала. В большей степени это влияет на форму корреляционных шумов, в то время как центральный максимум остается почти без изменений. За счет этого в одном бине ОГТ или на одной сейсмограмме ОПВ, при отстреле всех трех сигналов на одной точке в качестве накоплений (рис. 11), происходит деструктивное сложение корреляционных шумов, что позволило на полевых данных уменьшить их амплитуду в доминирующем интервале частот до 20 Гц более чем в 2 раза.



▲ Рис.12. Частотно-временная развертка.

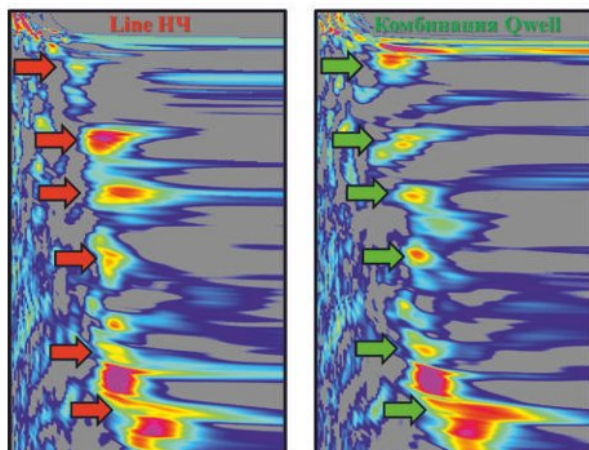
При использовании разработанной методики чередования свип сигналов с уникальной частотно-временной разверткой (рис. 12) даже при совместной одновременной обработке соседних групп вибраторов у отражений не будет пересечения по частотам, что позволяет эффективнее бороться с взаимным влиянием соседних групп вибраторов, появляющимся при использовании высокопроизводительных методик получения сейсмического материала в поле, например Slip-Sweep и ISS.

▼ Рис. 13. Временные разрезы. Сравнение предложенной методики со стандартной.



Данное утверждение было подтверждено на модельных и реальных данных, полученных с помощью предшествующих свип сигналов – Q sweep, учитывающих только неупругое поглощение [1].

В ходе отработки опытного профиля МОГТ-2D длиной 15 км, мы получили временной разрез, в значительной мере превосходящий по временной и динамической разрешенности, полученный при применении обычного линейного низкочастотного свип сигнала (рис. 13). Во всех интервалах глубин получен значительный прирост информации, в том числе, в интервале перспективном на углеводороды. В нем получилось поднять среднюю частоту свип сигнала на 18% при повышении средней амплитуды отражений на 10%. За счет уменьшения влияния волн-спутников максимумы на спектрах скоростей суммирования стали более сфокусированными и разрешенными (рис. 14). На временных разрезах это выразилось повышением прослеживаемости многих отражений (на рис. 13 показательные области вынесены отдельно).



▲ Рис. 14. Спектр скоростей. Сравнение предложенной методики со стандартной.

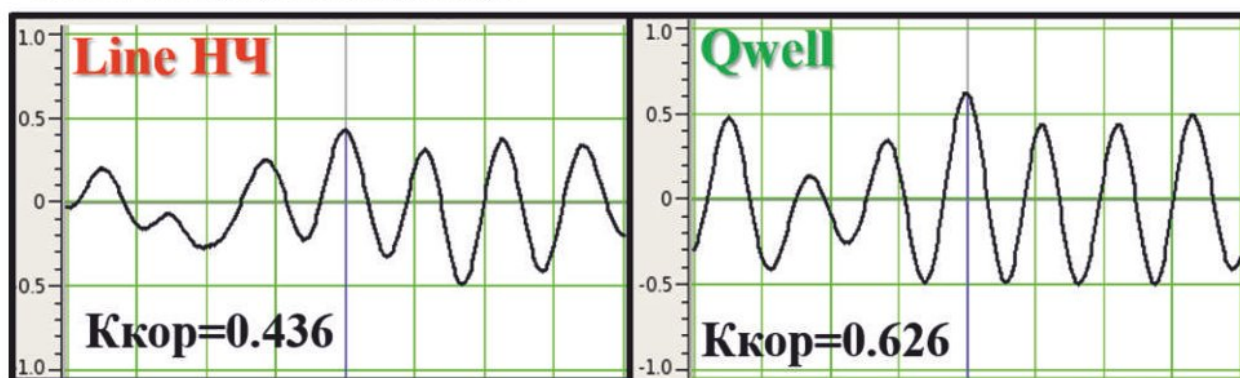
Также при привязке к скважинным данным, повысился коэффициент корреляции в перспективном интервале глубин на 30 %, с 0.436 до 0.626 (рис. 15).

Заключение

Сигналы специального вида, компенсирующие последующее влияние геологической среды, могут быть предварительно оптимизированы для каждого конкретного региона. Одновременное использование нескольких таких свип сигналов позволяет:

- 1) повысить динамическую и временную разрешенность временных разрезов и качество привязки;
- 2) значительно уменьшить уровень корреляционных шумов;
- 3) улучшить качество применения процедур, избавляющих от влияния

▼ Рис. 15. Коэффициенты корреляции.



соседних групп вибраторов при использовании высокопроизводительных методик (в т.ч. ISS).

4) сохранить время отработки одного ф.н.

Таким образом мы можем удовлетворить растущие требования к детальности и точности без значительных дополнительных вложений в ГРП, за счет использовании имеющихся технических средств.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за техническое сопровождение и неоценимую помощь в реализации проекта сотрудникам ООО «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДАННЫХ», и особенно – А.П. Жукову и И.П. Короткову.

Литература

1. Адиев Т.Р., Коротков И.П. Вибросейсмическая полевая методика независимого одновременного возбуждения нескольких управляемых «Q свипов» для совместного увеличения производительности работ и улучшения качества данных // Геофизика. 2023. №6. С. 16-21.
2. Korotkov Ilya, and Alexander Zhukov. 2020. "Inverse Q Sweep Signal for Broadband Vibroseis Acquisition". In SEG Technical Program Expanded Abstracts, 116-120.

3. Korotkov Ilya, Alexander Zhukov and Igor Nekrasov. «Vibroiseis acquisition with fully controllable sweep signals based on

borehole VSP data analysis». 2022 EAGE ANNUAL 83rd Conference and Exhibition. Madrid, 2022.

Подробнее об авторах



**Адиев
Тимур Рустемович**

Ведущий специалист
Дирекции разведочной
геофизики
АО «Башнефтегеофизика».
Окончил Московский
государственный
университет имени
М.В. Ломоносова
в 2023 г.



**Шулыкин
Дмитрий Александрович**

Главный геофизик
Управления обработки
сейсмических данных
ООО НПЦ «Геостра»
(АО «Башнефтегеофизика»)
Окончил Московский
государственный
университет имени
М.В. Ломоносова
в 2013 г.



Геомодель 2024

26-я конференция по вопросам геологоразведки
и разработки месторождений нефти и газа

9-12 СЕНТЯБРЯ 2024 Г. / ГЕЛЕНДЖИК, РОССИЯ

УСПЕЙТЕ ЗАРЕГИСТРИРОВАТЬСЯ!

www.geomodel.ru