УДК 550.834

О СУЩЕСТВОВАНИИ ЗНАЧИМОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В СЕЙСМИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ. ЧАСТЬ 1

Архипов А.А., Тыричев В.С.
(ООО «Геошельф-Сервис»)

Аннотация. В предыдущих работах автора нелинейный отклик среды на возбуждение колебаний в сейсмическом диапазоне частот исследовался при условии наличия скважинного эталона – линейных, синтетических суммотрасс. Как следствие, статистическая репрезентативность доказательной базы существования значимых нелинейных эффектов, регистрируемого спектра, была ограничена количеством опорных скважин проекта. В настоящее время успешно завершён эксперимент по восстановлению сейсмической записи в области относительно низких частот (НЧ) в потрассном варианте. В этом случае, эталоном для оценки модели перераспределения энергии зондирующего сигнала, выступает временной разрез, предварительно обработанный фильтром нижних частот (ФНЧ), а аналогом наблюдённой записи - разрез после применения фильтра верхних частот (ФВЧ). Основываясь на результатах эксперимента, подтверждено существование «следа» перераспределения энергии воздействия в сейсмическом спектре, «обращение» которого позволяет восстанавливать утраченную запись в области НЧ.

В работе впервые рассматривается результат восстановления НЧ диапазона волновой записи на модели Marmousi 2.

Ключевые слова. Нелинейность, перераспределение энергии, геологическая среда, практика применения, Marmousi 2.

ВВЕДЕНИЕ. На практике, в ряде работ российских и зарубежных авторов, доказано существование нелинейности в сейсмическом диапазоне частот. Однако, до настоящего времени, считалось, что энергия «вторичного» волнового поля, порождённого (за счёт нелинейности) при прохождении зондирующего сигнала через исследуемую среду – несоизмеримо мала в сопоставлении с «первичной» (линейной). Как следствие - нелинейные явления не представляют практического интереса и могут быть отброшены как погрешность.

Цель проведённого эксперимента: подтвердить или опровергнуть гипотезу о значимом перераспределении энергии зондирующего воздействия (вибрационного/импульсного) в сейсмическом диапазоне частот и о существовании его инвертируемого «следа».

Методика проведения эксперимента: исходный временной разрез делился в частотной области на два диапазона (условно НЧ и ВЧ). Далее, путём применения обратного нелинейного оператора к ВЧ разрезу, проводилось восстановление волновой записи в области НЧ (по «следу» перераспределения НЧ энергии в ВЧ диапазон).

Методика оценки результатов: проводилась проверка коэффициентов взаимной корреляции трасс исходной и восстановленной волновой НЧ записи.

Результаты эксперимента

На рис. 1 изображены: исходный разрез примера №1, результаты применения к нему ФНЧ и ФВЧ (запись продолжительностью 3 секунды, состоящая из 1122 трасс).

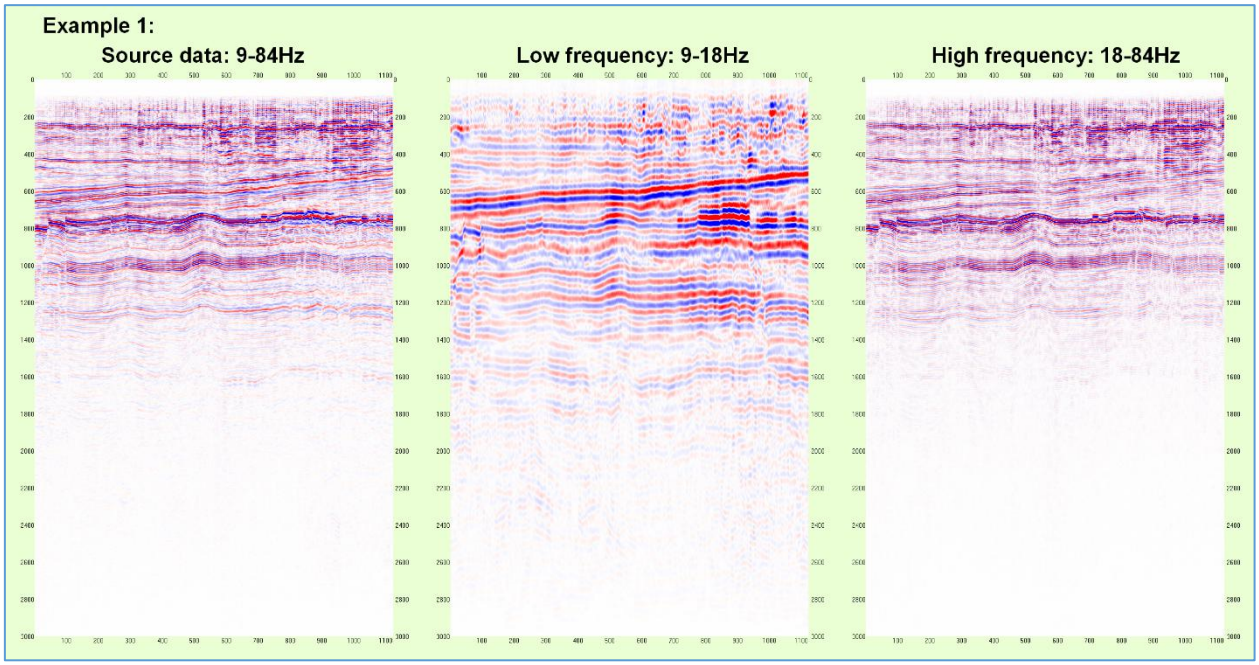

Рис.1. Результат разделения разреза на два диапазона частот. Пример 1.

На рис. 2 приведены: эталонный и восстановленный по ВЧ «следу» НЧ разрезы (иными словами: расчётный НЧ разрез получен в результате обратного нелинейного преобразования ВЧ разреза). Представленный результат получен на ранней стадии эксперимента, а объект исследования выбран как наиболее благоприятный из сейсмогеологических соображений.

В последствии поставлен аналогичный эксперимент в осложнённых условиях наблюдения, на больших временах (до 7 секунд) и при узком диапазоне частот исходной записи (6-36Гц) (рис. 3, рис. 4).

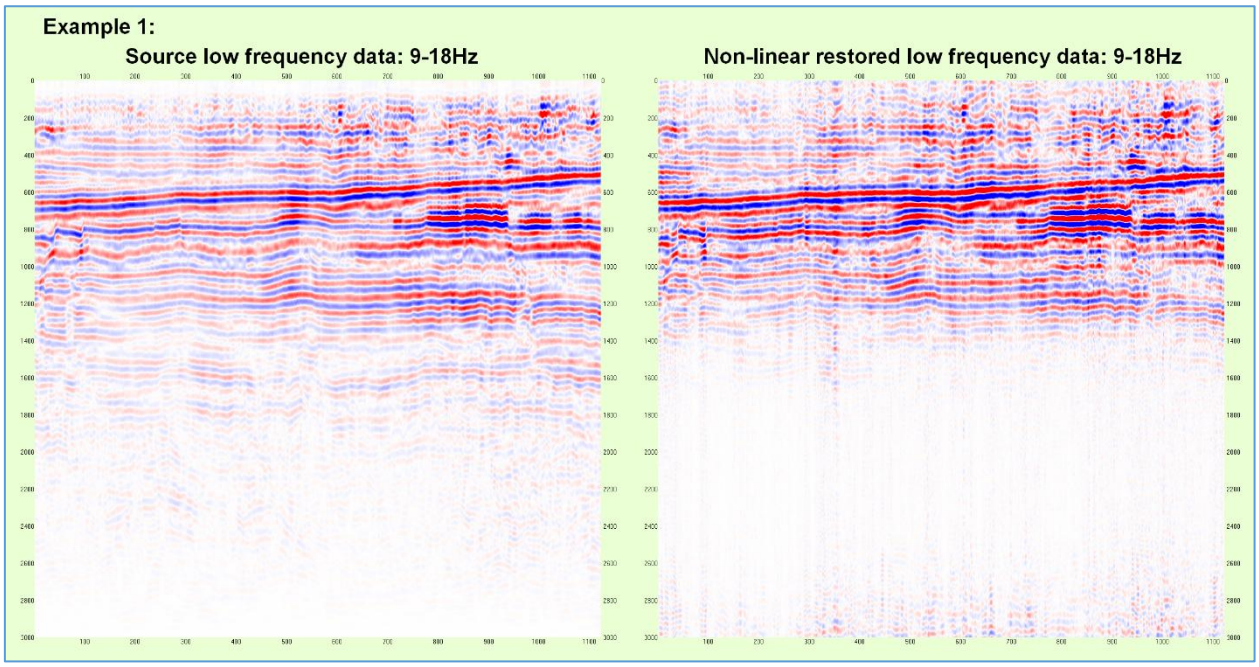

Рис. 2. Сопоставление исходной и восстановленной волновой записи в области НЧ. Пример 1.

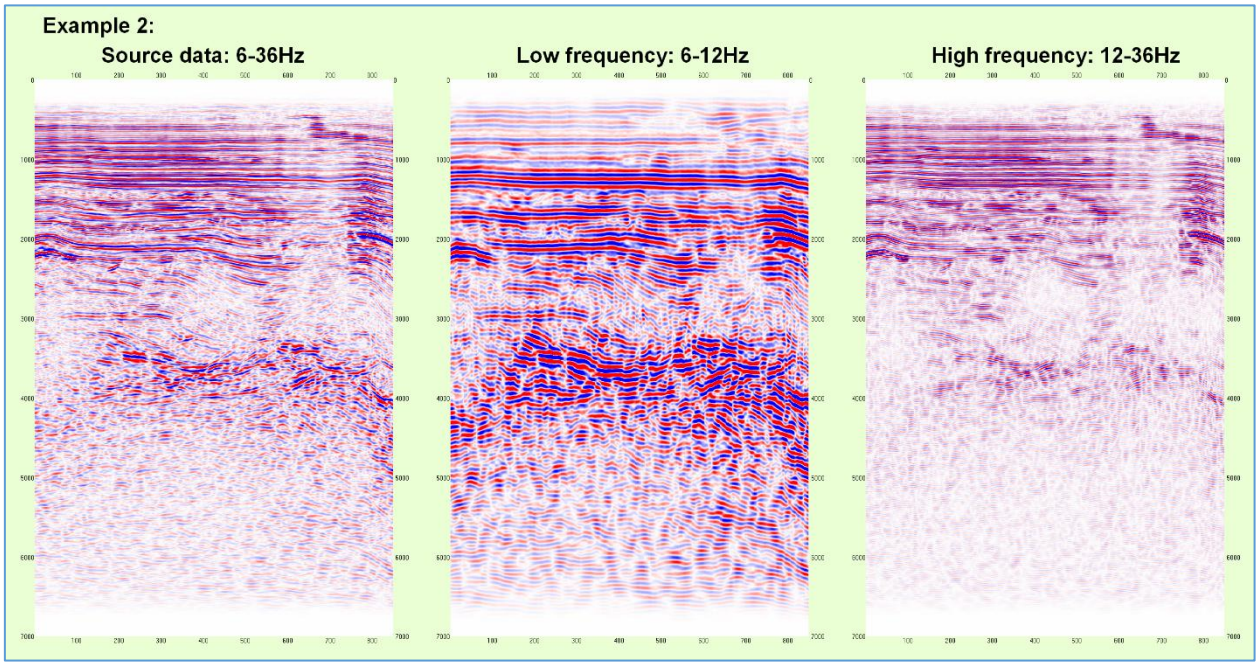

Рис. 3. Результат разделения разреза на два диапазона частот. Пример 2.

Так как в реальных условиях проведения измерений объект с отрицательным итогом проверки рабочей гипотезы найти не удалось, было принято решение продолжить исследования на наиболее сложной из существующих синтетических моделей – Marmousi 2, автора Gary Stuart Martin (2004). В качестве исходного материала был выбран разрез после временной миграции до суммирования по алгоритму Кирхгофа.

Модели скоростей пробега продольной, поперечной волн и плотностей горных пород Marmousi 2 изображены на рис.5 (глубинный масштаб), а соответствующий

фрагмент волнового поля и результат его разделения на НЧ и ВЧ диапазоны на рис.6 (временной масштаб).

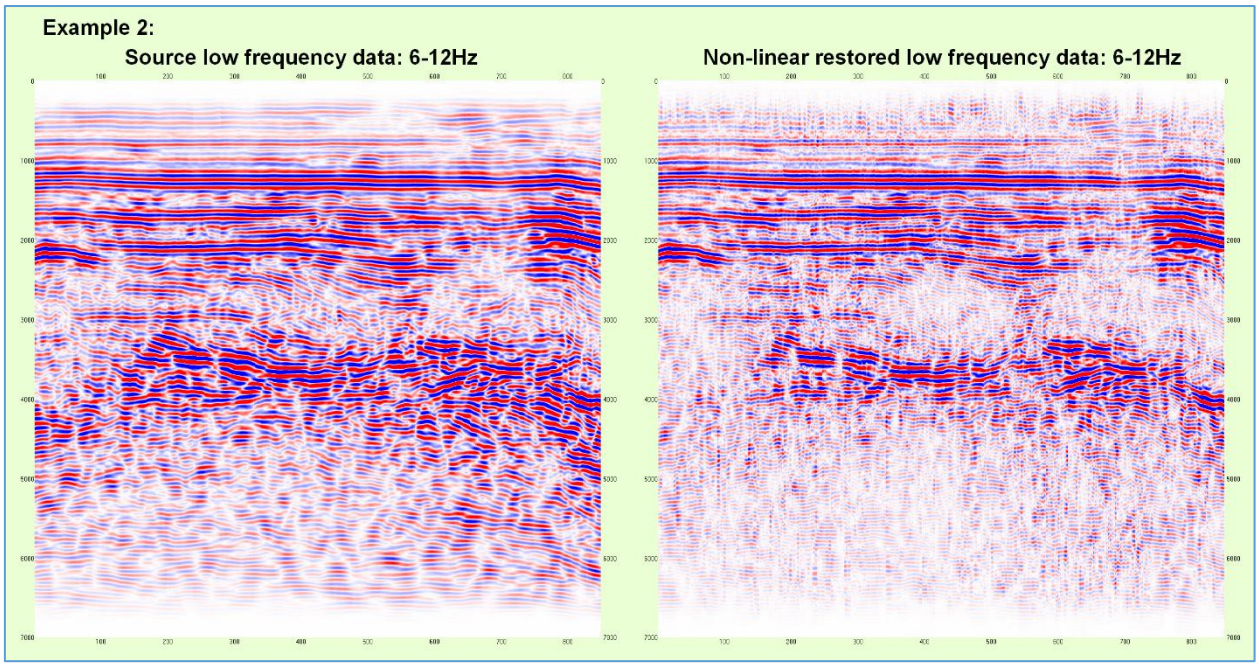

Рис. 4. Сопоставление исходной и восстановленной волновой записи в области НЧ. Пример 2.

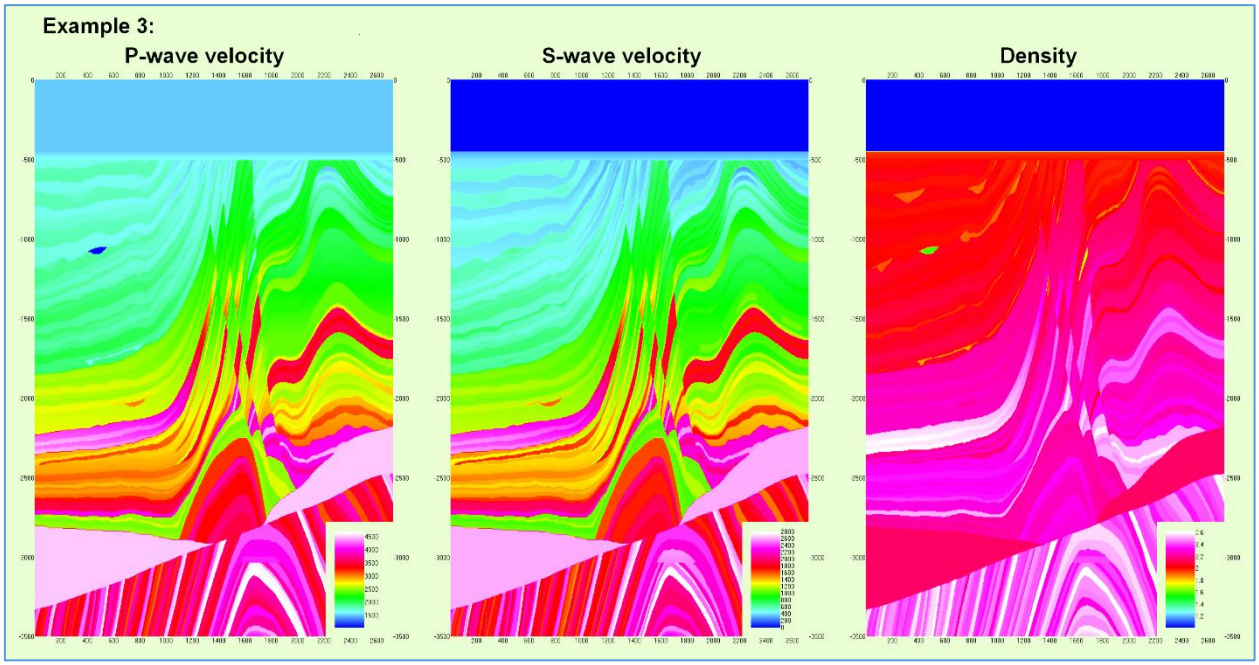

Рис. 5. Модель Marmousi2. Vp, Vs, плотность. Глубинный разрез.

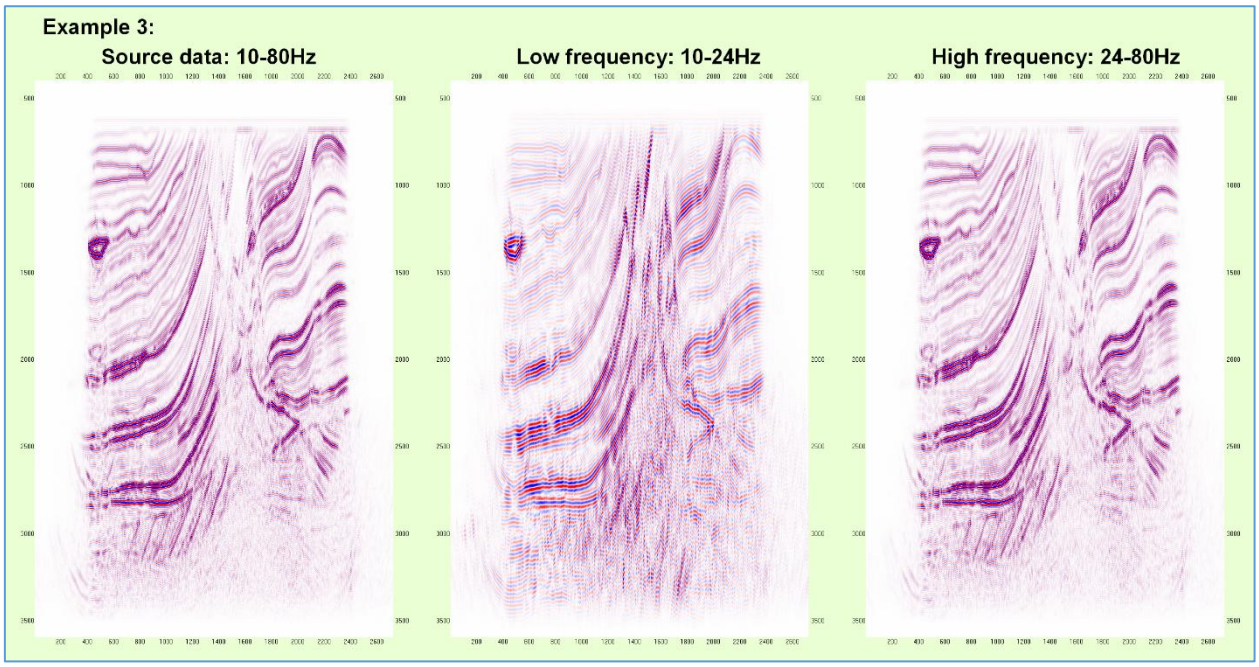

Рис. 6. Результат разделения разреза на два диапазона частот. Пример 3.

На рис.7 приведён результат восстановления НЧ записи по её «следу» в ВЧ области модели Marmousi2 в сопоставлении с исходным НЧ разрезом.

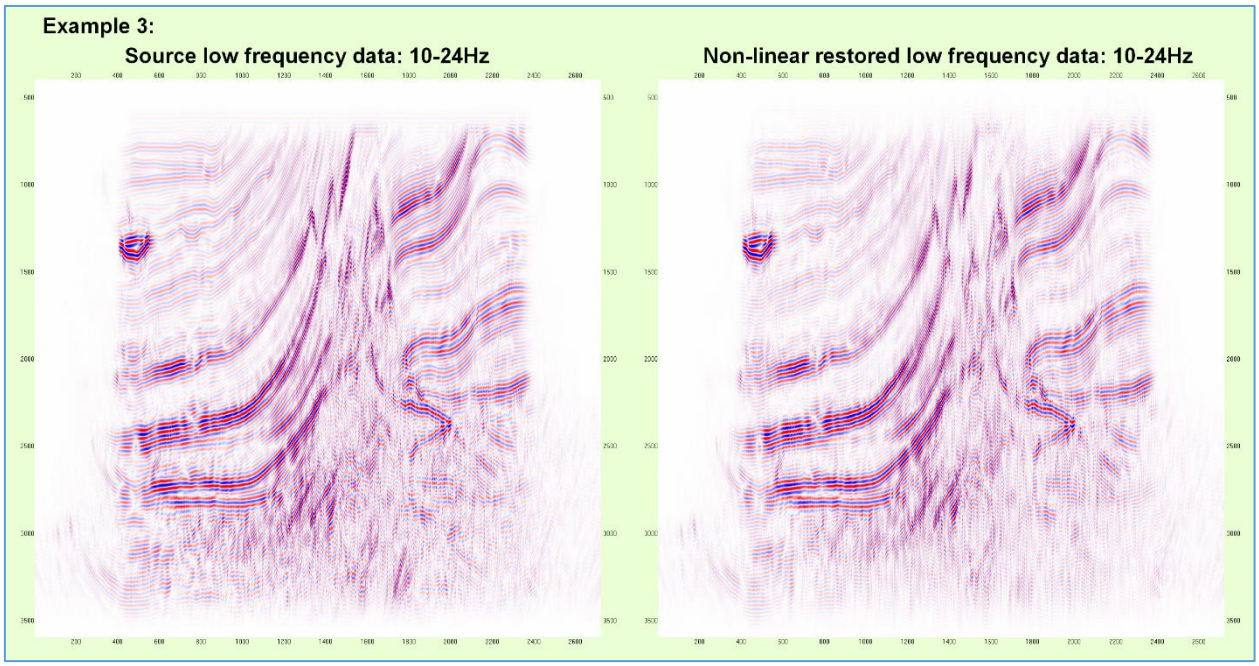

Рис.7. Сопоставление исходной и восстановленной волновой записи в области НЧ. Пример 3.

Во всех исследуемых примерах визуальная схожесть восстановленных и эталонных НЧ разрезов очевидна. Далее перейдём к количественной оценки результатов эксперимента.

Количественная оценка

На рис. 8 изображены коэффициенты взаимной корреляции наблюдённых и восстановленных суммотрасс в области НЧ по трём рассматриваемым примерам (одной суммотрассе соответствует один Ккорр).

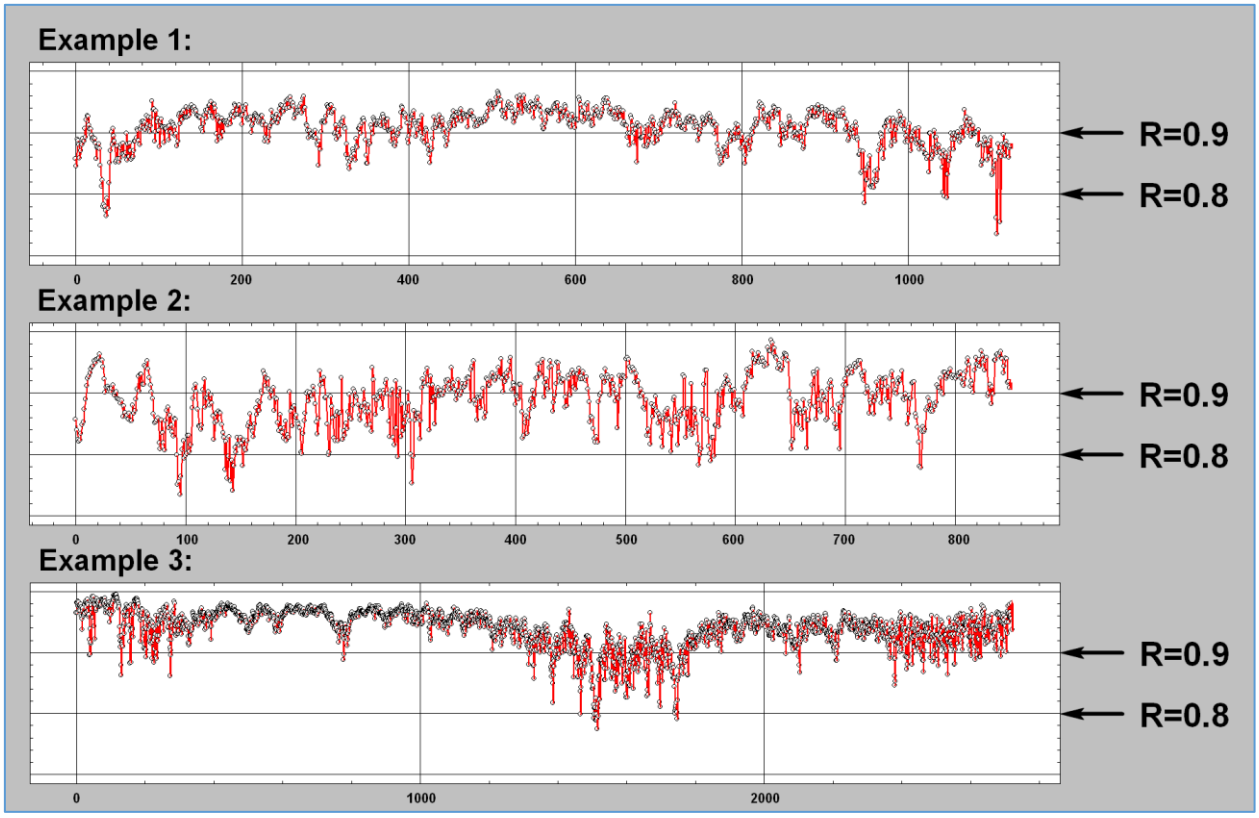

Рис. 8. Коэффициенты взаимной корреляции восстановленных и наблюдённых суммотрасс в области НЧ.

Пример №1 состоит из 1124 трасс, минимальный Ккорр=0.736, максимальный Ккорр=0.967, средний Ккорр=0.908, выборка трассы=3000мс;

Пример №2 состоит из 851 трассы, минимальный Ккорр=0.734, максимальный Ккорр=0.987, средний Ккорр=0.890, выборка трассы=7000мс;

Пример №3 состоит из 2721 трассы, минимальный Ккорр=0.775, максимальный Ккорр=0.996, средний Ккорр=0.939, выборка трассы=3200мс;

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ. Количественная оценка показала, что вне зависимости от сложности сейсмогеологических условий, с достаточной степенью достоверности, во всех, без исключения случаях, возможно рассчитать обратный нелинейный оператор восстановления НЧ волновой записи по её «следу» в области ВЧ.

Таким образом получено подтверждение гипотезы о значимой нелинейности в сейсмическом диапазоне частот и положено основание для дальнейших исследований

возможности расширения спектра записи в область ультра-НЧ без скважинного эталонирования.

Литература

1. Архипов А.А. Патент на полезную модель №146947. Приоритет от 05.08.2014. Технологический комплекс для анализа нелинейных свойств среды с целью расширения спектра регистрируемого волнового сигнала.
2. Архипов А.А. Технология анализа проявлений нелинейных свойств среды с целью расширения спектра регистрируемого волнового сигнала. Тезисы доклада на конференции «Геомодель-2014», 2014
3. Архипов А.А. Кажущаяся или фиктивная нелинейность. Практика применения при широкополосном воздействии на среду. Приборы и системы разведочной геофизики. Вып.№01/2015, 2015, с. 57-62
4. Архипов А.А. Кажущаяся или фиктивная нелинейность. Практика применения при широкополосном воздействии на среду. Тезисы доклада на конференции «Геокрым-2015», 2015, с. 82-86
5. Архипов А.А. Нелинейность при широкополосном воздействии на среду. Расширение спектра сигнала в область высоких частот. Тезисы доклада на конференции «Геомодель-2015», 2015
6. Архипов А.А. Восстановление сигнала низкочастотного диапазона волновой записи в сложных сейсмогеологических условиях. Тезисы доклада на конференции «Санкт-Петербург-2016», 2016
7. Архипов А.А. Восстановление сейсмической записи в области низких частот как способ уточнения глубинно-скоростной модели. Тезисы доклада на конференции «Геокрым-2016», 2016, с. 155-160
8. Ведерников Г.В. Исследование кратных гармоник вибросигналов. Избранные статьи: Методика и технологии сейсморазведочных работ. «Новосибирск-Томск-Нортхэмптон», 2006, с.252-261
9. Гущин В.В, Шалашов Г.М. О возможности использования нелинейных сейсмических эффектов в задачах вибрационного просвечивания Земли. Сборник научных трудов: Исследование Земли невзрывными сейсмическими источниками. Наука, М, с.144-155, 1981

10. Динариев О.Ю., Николаевский В.Н. Нелинейная математическая модель генерации низких частот в спектре сейсмического сигнала. Собрание трудов: Геомеханика. Том 2. АНО «Ижевский институт компьютерных исследований», Ижевск, с.271-276, 2010
11. Динариев О.Ю., Николаевский В.Н. Кратное увеличение периода при распространении волн в упругих телах с диссипативной микроструктурой. Собрание трудов: Геомеханика. Том 2. АНО «Ижевский институт компьютерных исследований», Ижевск, с.277-284, 2010
12. Жуков А.П., Колесов С.В., Шехтман Г.А., Шнеерсон М.Б. Сейсморазведка с вибрационными источниками. ООО «Издательство ГЕРС», 2011
13. Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки., Недра, М, с.51-95, 2000
14. Зейгарник В.А., Ключкин В.Н., Кузнецов А.Н. Аппаратура для физического моделирования нелинейных явлений в сейсморазведке. Сейсмические приборы. Т. 45, № 3, с.41-47, 2009
15. Касьянов Д.А., Шалашов Г.М. О возможности нелинейной сейсмоакустической томографии. Сборник научных трудов: Проблемы геотомографии. Наука, М, с.203-209, 1997
16. Логинов К.И., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б, Логинов И.В. Нелинейные волновые поля в акустическом каротаже и вибрационной сейсморазведке. ООО «Издательство ГЕРС», 2012
17. Николаев А.В. Проблемы нелинейной сейсмики. Под ред. А.В.Николаева и И.Н.Галкина. Наука, М, 1987
18. Новожилов В.В., Толоконников Л.А., Черных К.Ф. Нелинейная теория упругости. Механика в СССР за 50 лет. Том 3. Наука, М, с.71-78, 1972
19. Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Исследование нелинейных эффектов частотным анализом виброграмм. Сборник научных трудов: Исследование Земли невзрывными сейсмическими источниками. Наука, М, с.272-280, 1981
20. Шулакова В.Е., Нелинейные свойства вибросейсмических волновых полей и их использование для прогнозирования коллекторских свойств резервуаров. 2007, автореф. дисс. канд. физ.-мат. Наук
21. G.S. Martin, R. Wiley, K.J. Marfurt, Marmousi2: An elastic upgrade for Marmousi. February 2006, The Leading Edge, p.156-166
22. Zhukov A.P., Loginov K.I., Shneerson M.B., Shulakova V.E., Kharisov R.G., Ekimenko V.A. Nonlinear properties of vibrator-generated wavefields and their application to hydrocarbon detection. November 2007, The Leading Edge, p.1395-1402