EAGE

Saint Petersburg 2016

We C 05

Low Frequency Seismic Spectrum Restoration in Case of Complex Seismogeological Environment

A.A. Arkhipov* (Geoshelf-Service)

SUMMARY

Author of this paperwork describes a new technology of seismic signal restoration in low frequency band in case of complex seismogeological environment when traditional methods of compensation seismic spectrum lack in low frequencies are not implemented. Technology based on geological environment non-linear effects analysis of conventional seismic band data. Low frequency data restoration algorithm based on wavefield analysis independently from horizons structure as an alternative of well logs interpolation procedure.

Введение

В современных экономических условиях, за счёт сокращения объёмов геологоразведочных работ, возрастает интерес к применению высокоэффективных сейсморазведочных технологий, в конечном итоге позволяющим снизить риски при бурении на нефть и газ. Одним из перспективных направлений повышения информативности наблюдений методом сейсморазведки на суше и море общепринято является применение специальных аппаратно-методических комплексов, позволяющих получить в процессе регистрации более широкий и равномерный спектр полезного сигнала. Очевидно, что данный подход требует проведения повторных и дорогостоящих полевых работ.

В случае обеднения регистрируемого сейсмоустройствами сигнала в диапазоне низких частот (НЧ), при решении обратной задачи невозможно получить достоверную оценку абсолютных значений упругих импедансов (продольного, поперечного, обменного, полного, углового и т.д.), а как следствие и абсолютных значений прогнозируемых параметров геологического разреза. Влияния различных ограничений спектра полезного сигнала на решение обратной задачи приведены на рис.1.

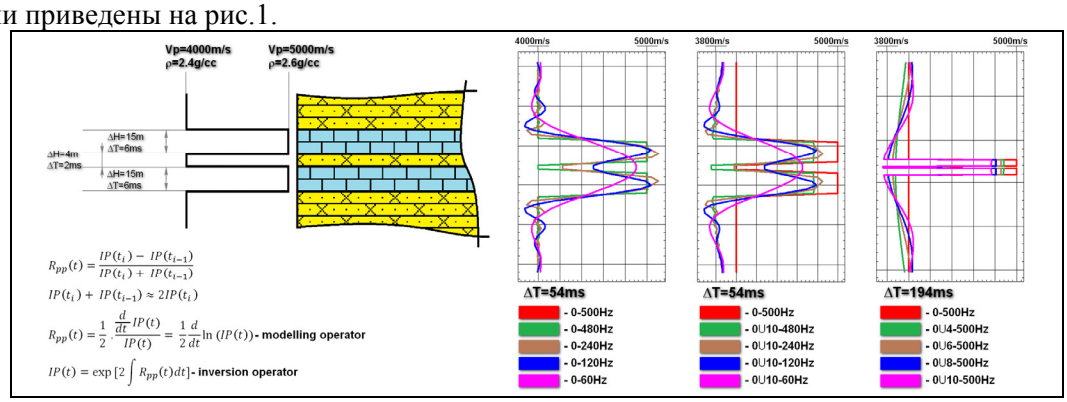

Рисунок 1.*Влияние ограничений спектра полезного сигнала сейсморазведки на решение обратной задачи.*

В настоящее время, с целью «компенсации» недостатка информативности сейсмических данных в области НЧ, при решении обратной задачи в межскважинном пространстве, в качестве тренда используются материалы, полученные в результате кинематической обработки данных сейсморазведки и/или интерполированные/экстраполированные по латерали скважинные кривые упругих импедансов (рис.2а). Для первого подхода характерна низкая степень согласованности со скважинными данными, существенная неоднозначность решения и, как следствие, его низкая латеральная устойчивость (при необходимой детализации). Второй подход применим только в условиях спокойной сейсмогеологической модели с однозначным прослеживанием отражающих границ (ОГ) и субгоризонтальным залеганием пластов.

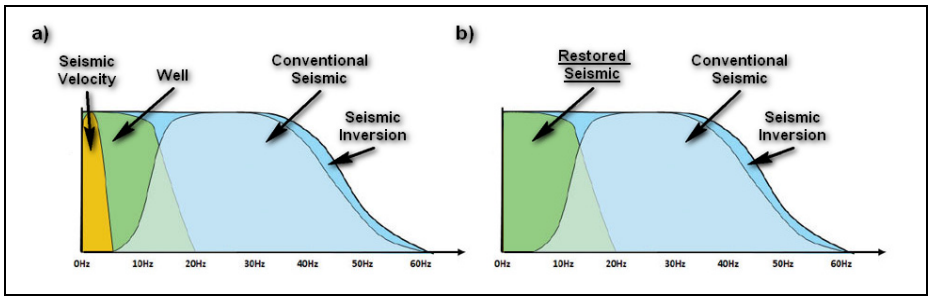

Рисунок 2 *Формирование амплитудно-частотных спектров при решении обратной задачи (а – традиционный подход, b – восстановление волновой записи в области НЧ).*

Актуальной и экономически целесообразной остаётся задача расширения спектра полезного сигнала сейсморазведки в случае, когда проведение повторных полевых работ невозможно, а стандартные методы «компенсации» неприменимы.
В работе приводятся результаты применения разработанной технологии восстановления спектра полезного сигнала в области НЧ (рис.2b) для случая сложной сейсмогеологической модели, путём анализа нелинейных свойств среды, регистрируемых в волновом поле при наблюдениях традиционным сейсморазведочным оборудованием.

Теория

Установлен факт сложного перераспределения/переноса энергии зондирующего сигнала (импульсное или вибрационное воздействие) как в диапазоне частот, излучаемых источником, так и в области НЧ/ВЧ за его пределами [15, стр.86-93]. Вызваны наблюдаемые явления нелинейностью геологической среды [1-19], под действием которых волновое поле, в регистрируемой традиционным сейсмоустройством полосе частот, косвенно несёт информацию о характере НЧ и ВЧ составляющих [1-5] не регистрируемых в процессе полевых работ по комплексу причин.
Экспериментально доказана схожесть закона перераспределения энергии зондирующего сигнала с полиномиальным [12, 18]. Для простоты восприятия на рис.3а схематически представлен случай формирования спектра отклика квадратично-нелинейной среды при воздействии на неё суммой двух монохроматических сигналов с частотами 3Гц и 20Гц.

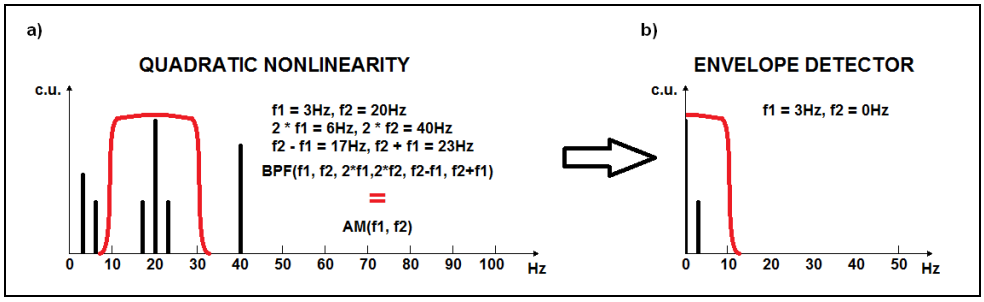

Рисунок 3 *Квадратичная нелинейность среды при воздействии на неё суммой двух монохроматических сигналов.*

В приведённом (на рис.3а) примере сигнал в полосе фильтра, обозначенного красным (условно регистрируемый сейсмоустройством диапазон частот) цветом, представляет собой канонический случай амплитудно-модулированного сигнала. Таким образом, в частном случае, геологическая среда является амплитудным модулятором – хорошо известным в радиофизике способом переноса звукового диапазона частот в более высокочастотную область с целью разделения эфира радиостанций. Очевидно, что, применив к сигналу, находящемуся в полосе «условного» фильтра процедуру обратную модуляции (т.е. детектированию, рис.3b) возможно однозначно восстановить составляющую на частоте 3Гц, находящуюся за его пределами.
В случае с полевыми наблюдениями при широкополосном воздействии (вибрация или импульс) задача существенно усложняется, но также решаема при условии наличия широкополосного эталона сигнала (скважинные данные).

Результаты

Как уже упоминалось во введении, в условиях спокойной сейсмогеологической модели с уверенно прослеживаемыми ОГ и субгоризонтальным залеганием пластов, в качестве компенсации обеднения НЧ диапазона спектра волнового сигнала, возможно использовать интерполированные по латерали скважинные данные (при малых горизонтальных градиентах упругих параметров). Однако больший интерес представляют объекты со сложным строением, высокими латеральными градиентами упругих параметров и неоднозначным прослеживанием ОГ, где «традиционный» подход неприменим. На рис.4 приведён пример временного разреза

амплитуд однократных отражений до и после применения процедуры восстановления низкочастотного диапазона волновой записи, а на рис.5 разрез амплитуд однократных отражений в восстановленном диапазоне частот и соответствующий ему результат решения обратной задачи (в масштабе пластовых скоростей пробега продольной волны).

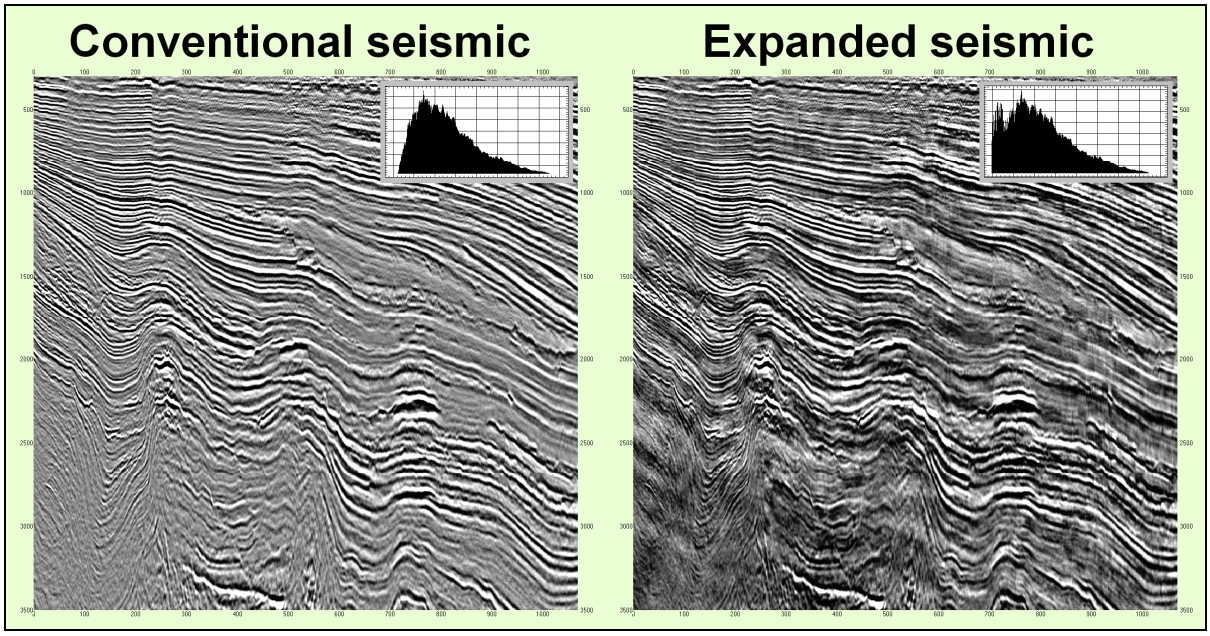

Рисунок 4 *Сопоставление временных разрезов до и после применения процедуры восстановления сигнала в НЧ диапазоне волновой записи.*

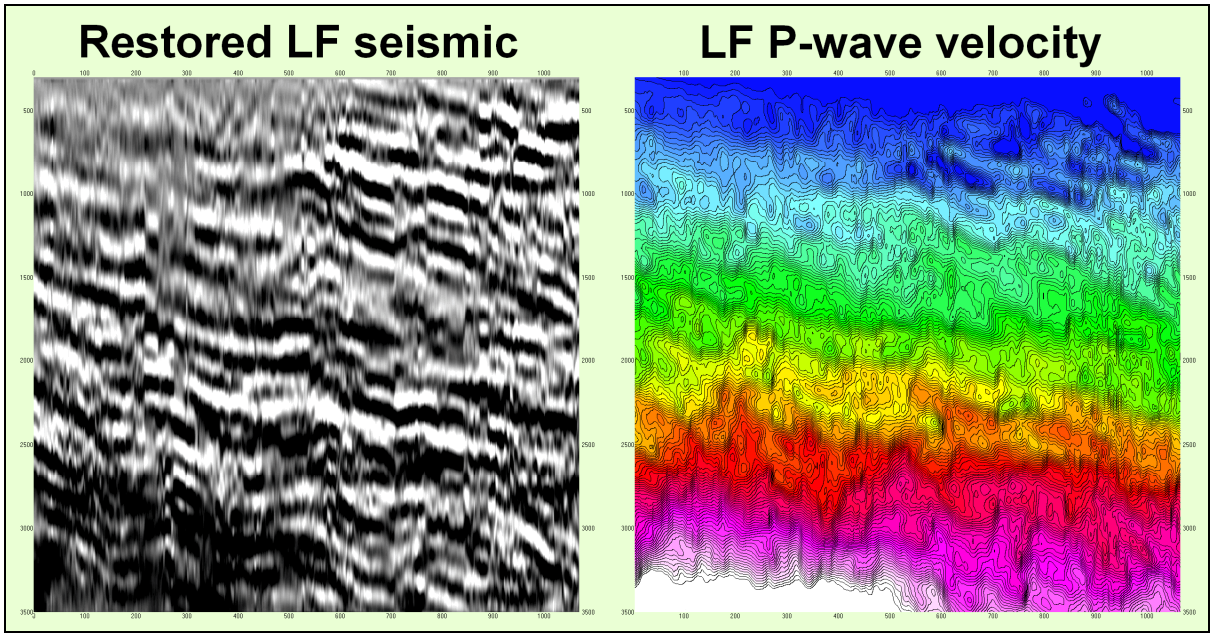

Рисунок 5 *Восстановленное волновое поле в области НЧ и соответствующий ему разрез скоростей пробега продольной волны.*

Выводы

В сложных сейсмогеологических условиях с неоднозначно прослеживаемыми ОГ, предлагаемая технология восстановления волновой записи является единственным корректным решением компенсации обеднённого НЧ диапазона спектра. На настоящий момент альтернативных разработок не существует.

Список литературы

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. Ведерников Г.В. Исследование кратных гармоник вибросигналов. Избранные статьи: Методика и технологии сейсморазведочных работ. «Новосибирск-Томск-Нортхэмптон», 2006, с.252-261
7. 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
8. 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
9. 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
10. Жуков А.П., Колесов С.В., Шехтман Г.А., Шнеерсон М.Б. Сейсморазведка с вибрационными источниками. ООО «Издательство ГЕРС», 2011
11. Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки., Недра, М, с.51-95, 2000
12. 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
13. Касьянов Д.А., Шалашов Г.М. О возможности нелинейной сейсмоакустической томографии. Сборник научных трудов: Проблемы геотомографии. Наука, М, с.203-209, 1997
14. 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
15. Николаев А.В. Проблемы нелинейной сейсмики. Под ред. А.В.Николаева и И.Н.Галкина. Наука, М, 1987
16. 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
17. 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
18. Шулакова В.Е. Нелинейные свойства вибросейсмических волновых полей и их использование для прогнозирования коллекторских свойств резервуаров. 2007, автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук
19. 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