

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДАПТИВНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Чжао Сянь-чжэн¹, Ван Си-шунь¹, Жуков А. П.², Чжан Жуй-фэн¹, Тан Чуань-чжан¹

¹ CNPC (Китайская национальная нефтегазовая корпорация)

Китайская народная республика, 100007, Пекин, район Донгчен, ул. Донгжимен 9

² ООО "Геофизические системы данных"

Россия, 117198, Москва, Ленинский проспект 113/1, офис E-204; e-mail: info@gds.ru

Одним из недостатков традиционных методов вибрационной сейсморазведки является относительно узкая полоса частот регистрируемых колебаний, обусловленная поглощающими свойствами геологической среды. В настоящей статье рассматривается метод вибрационной сейсморазведки, основанный на автоматической оптимизации параметров частоты и длительности свип-сигнала с учетом особенностей геологической среды и позволяющий повысить энергию возбуждения и повысить отношение сигнал/шум на средних и высоких частотах. Кроме того, сохранение данных, получаемых на низких частотах, в сочетании с расширением высокочастотного диапазона за счет применения методики адаптивной сейсморазведки (АВИСейс) (Жуков А.П., 2011), позволяет расширить полосу частот в целом. Благодаря расширению полосы частот рассматриваемый метод повышает достоверность выявления тонких пропластков и ловушек литологического типа.

Вибрационная сейсморазведка, нелинейный свип-сигнал, адаптивный свип-сигнал, разрешение, отношение сигнал/шум.

TECHNOLOGY OF ADAPTIVE VIBROSEIS FOR WIDE SPECTRUM PROSPECTING

Xianzheng Zhao¹, Xishuang Wang¹, A.P. Zhukov², Ruifeng Zhang¹, Chuanzhang Tang¹

¹ CNPC (China National Petroleum Corporation)

9 Dongzhimen North Street, Dongcheng District, Beijing, P.R. China, 100007

² Geophysical Data Systems Ltd.

Office E-204, Leninsky Prospekt 113/1, Moscow, 117198, Russia; e-mail: info@gds.ru

Seismic data from conventional vibroseis prospecting is characterized by narrow frequency bandwidth due to earth absorption. This article introduces a technology of vibroseis prospecting, which is based on automatic optimizing of sweep parameters for the actual data and designs different sweep length for different frequency, thus increases the exciting energy of the middle to high frequency signals, and enhances the s/n ratio of middle to high frequency components. Furthermore, processing is done on low frequency protection and extend high frequency according to the features of the AVISEis data, thus achieves the purpose of extending effective bandwidth of seismic data. This method is wide spectrum prospecting, which increases the ability to identify thin interlayers and lithologic reservoirs.

Vibroseis, nonlinear sweep, adaptive sweep, resolution, s/n ratio

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ужесточением требований к безопасности работ и охране окружающей среды вибрационная сейсморазведка стала наиболее распространенным методом поисковых работ на суше. В случае использования низкочастотных виброисточников, стартовая частота которых смещается к 3 Гц, появляются дополнительные возможности вибрационной сейсморазведки (Zhifei, 2010). Однако фильтрующее действие неоднородности ВЧР ведет к существенному затуханию высокочастотной части спектра посылаемых сигналов и препятствует повышению разрешенности результирующих данных.

Отложения четвертичного возраста на территории северной части КНР отличаются значительной мощностью и низкой плотностью пород приповерхностного слоя. Кроме того, интенсивная откачка подземных вод промышленными и сельскохозяйственными предприятиями ведет к резким изменениям толщины ЗМС по горизонтали. Из опыта известно, что затухание сигнала на частоте 60 Гц в приповерхностных слоях может составлять от 30 до 60

дБ. В связи со значительным затуханием в средне- и высокочастотном диапазоне в прошлом частота используемых для сейсморазведки сигналов не превышала 50 Гц. Методика нелинейной вибрационной сейсморазведки позволила повысить разрешенность данных, получаемых на средних и высоких частотах (Jiada, 2008) (Wuxiang, 2008). Тем не менее, тот факт, что параметры нелинейного свип-сигнала определяются на основании анализа небольшого числа контрольных точек, препятствует применению этой методики в условиях высокой латеральной изменчивости характеристик приповерхностного слоя и расширению полосы частот сейсморазведки.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метод адаптивной вибрационной сейсморазведки (Жуков А.П., 2011) основан на корректировке характеристик свип-сигнала с учетом отклика геологической среды на линейное возбуждение на отдельных ПВ. Нелинейный свип-сигнал корректируется для каждого ПВ, что позволяет повысить амплитуду отражений в области средних и высоких частот. Благодаря этому имеет место расширение частотного спектра регистрируемых сигналов. Одновременное сохранение низкочастотных данных и повышение наибольшей частоты позволяет решить задачу получения широкополосных сейсмических данных.

Основной принцип адаптивной сейсморазведки заключается в анализе затухания линейного сигнала для каждого ПВ и формировании учитывающих такое затухание нелинейных свип-сигналов. Этот подход позволяет оптимизировать свип-сигналы всех ПВ и получить широкополосные сейсмические данные.

Характеристики свип-сигнала рассчитываются по формуле:

$$S(f)_{\text{avis}} = 1 / S(f)_{\text{response}} + \alpha$$

где α – корректирующий коэффициент, $S(f)_{\text{avis}}$ – амплитудный спектр адаптивного свип-сигнала, а $S(f)_{\text{response}}$ – амплитудный спектр отклика на линейный свип-сигнал для того же источника.

Адаптивный свип-сигнал формируется с учетом требуемых АЧХ. Для компенсации

затухания используется сокращение времени возбуждения на низших частотах и увеличение времени возбуждения на высоких частотах, ведущее к увеличению энергии высокочастотных колебаний. Анализ результатов, полученных для одних и тех же ПВ и ПП с использованием линейных и нелинейных (адаптивных) свип-сигналов, указывает на повышение амплитуд в высокочастотной области, улучшение отношения сигнал/шум и расширение полосы частот, используемых для получения результирующих данных.

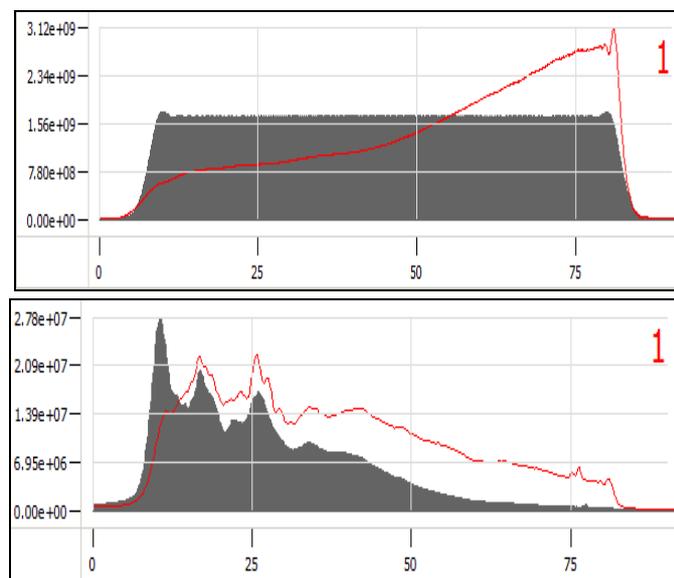


Рис. 1. Амплитудные спектры при использовании линейных (выделено красным) и нелинейных свип-сигналов (выделено серым).

Поскольку применение метода адаптивной сейсморазведки ведет к снижению амплитуд в низкочастотной области при обработке необходимо принимать меры для корректировки низкочастотных составляющих. Для этого используются методы подавления помех до суммирования. Основным из них является компенсация на низких частотах. Корректировка выполняется после определения поправочных коэффициентов с учетом реальных характеристик геологической среды и сейсмических данных. Результатом корректировки является увеличение низкочастотных амплитуд без изменения фазовых спектров. Это позволяет повысить информационную ценность низкочастотных данных без внесения искажений.

Для расширения полосы частот в высокочастотной области при обработке в основном используется деконволюция с привязкой к данным по скважинам и компенсация частотно-зависимого поглощения с учетом информации о геологическом строении недр. Параметры деконволюции подбираются с учетом влияния на исходные данные и суммарные сейсмические разрезы. Деконволюция с корреляцией по скважинам выполняется для оценки сейсмических трасс с привлечением данных синтетических сейсмотрасс или ВСП с целью определения таких характеристик как достоверность, предсказуемость и др., а также выполнения качественного анализа и подбора оптимальных параметров деконволюции. Построение суммарных разрезов с использованием деконволюции с корреляцией по скважинам позволяет объективно оценить характеристики горизонтов вблизи скважины.

Компенсация частотно-зависимого поглощения предназначена для восстановления амплитуд и устранения фазовых искажений, обусловленных поглощающими свойствами геологической среды. Она позволяет внести поправки на растяжение импульса, изменение частоты и снижение амплитуды, что ведет к повышению информативности низкоамплитудных отражений, более надежному прослеживанию отражающих горизонтов и повышению разрешенности сейсмических данных. По существу этот этап заключается в устранении искажений, возникающих в результате фильтрации геологической средой.

Компенсация частотно-зависимого поглощения с учетом геологического строения выполняется в скользящих временных окнах по отражающим горизонтам. Модели поглощения для каждого горизонта строятся на основе сравнения спектров. Компенсация частотно-зависимого поглощения опирается на результаты интерполяции, сглаживание и построения куба данных. Окончательным результатом компенсации затухания амплитуд и увеличения амплитуд в средне- и высокочастотной области становится повышение разрешенность сейсмических данных.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Объектами разведки на участке ТКХ являются литологические ловушки интервала ES1.

Они залегают на глубине 1800-2500 м. Мощность ЗМС на участке работ составляет 12-25 м. Для съемок 3D была выбрана расстановка 36L4S120R (36 линий ПП по 120 каналов, по 4 ПВ между двумя линиями ПП). Биннинг 25 x 25 м; кратность 360. Для решения задач широкополосной сейсморазведки использовался низкочастотный вибратор KZ28LF. Частота возбуждения составляла 1.5-84 Гц. Было обработано два набора исходных данных. Данные, полученные с использованием адаптивного свип-сигнала, обрабатывались с применением метода высокоточной обработки HFVS. Данные линейной сейсморазведки обрабатывались по традиционной технологии. Таким образом, было получено два набора результатов.

Из сравнения исходных данных видно, что основные отражающие горизонты хорошо прослеживаются и в том, и в другом случае (рис. 2). При этом очевидно, что данные адаптивной сейсморазведки отличаются более высоким качеством визуализации. Изображения на основе данных, отфильтрованных с использованием ФНЧ 6 Гц, практически полностью совпадают, что подтверждает сохранность низкочастотных данных при применении адаптивной вибрационной сейсморазведки. На изображениях, полученных с применением ФВЧ 50 Гц, заметно улучшение отношения сигнал/шум, что свидетельствует о расширении полосы в сторону высоких частот за счет применения метода адаптивной сейсморазведки. Спектральный анализ на разных глубинах (0-1,500 мс, 1,500-4,000 мс) указывает на то, что адаптивный свип-сигнал позволяет получить данные без потери качества в низкочастотной области и значительно повысить их качество в высокочастотной области. В приповерхностной зоне диапазон расширится примерно на 20 Гц, а в интервале залегания объектов разведки – примерно на 14 Гц (рис.

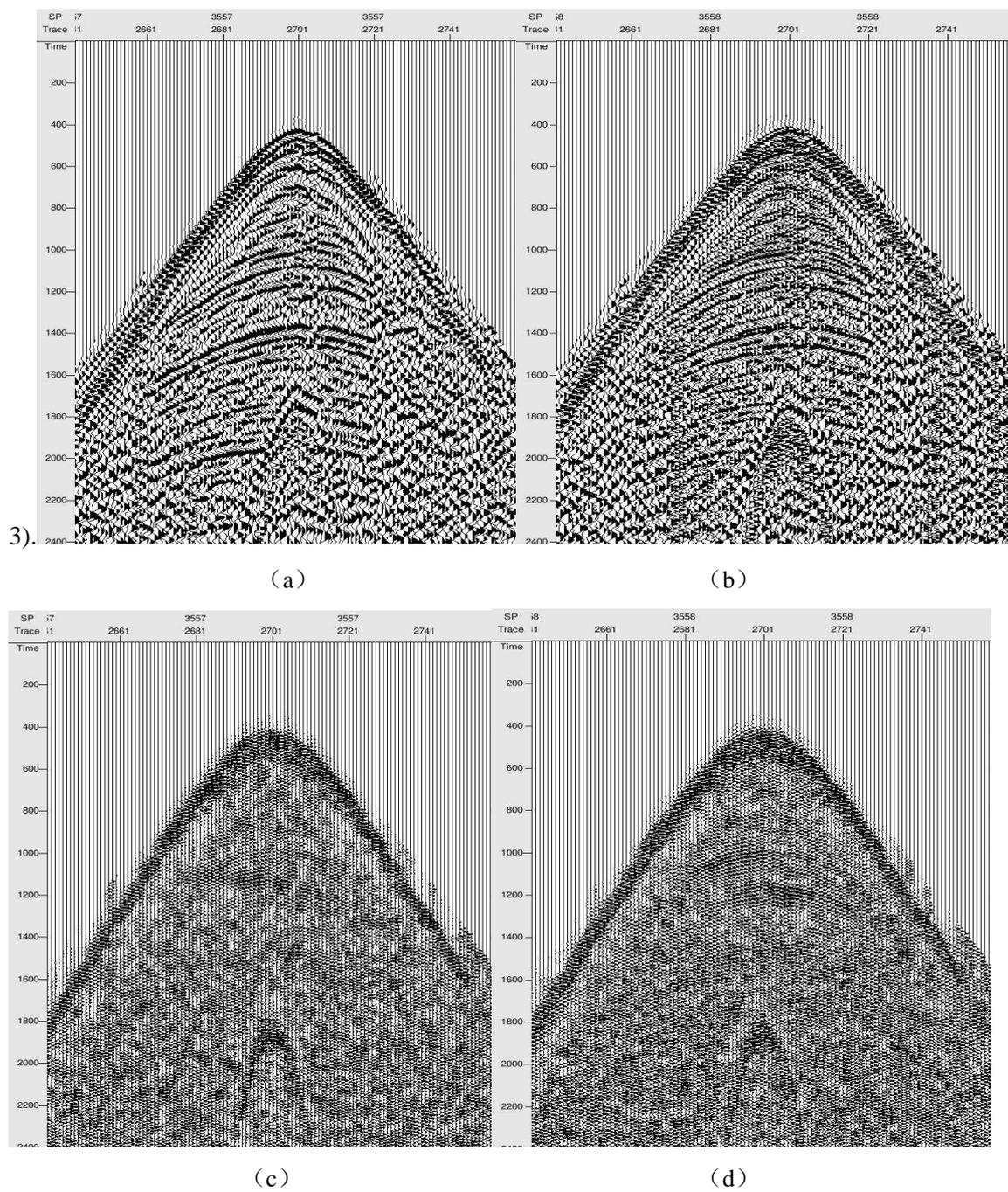


Рис. 2. Исходные данные при использовании линейного (а, с) и адаптивного нелинейного (b, d) свип-сигнала.

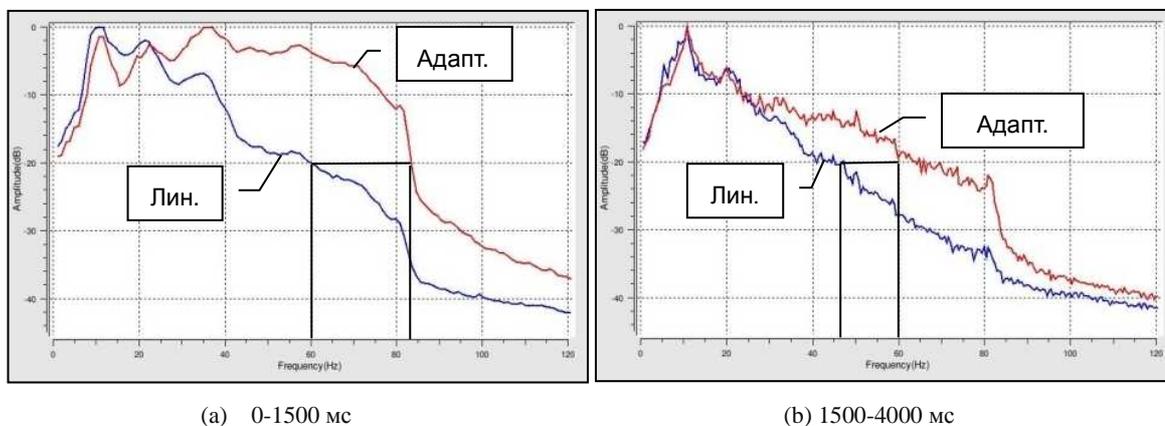
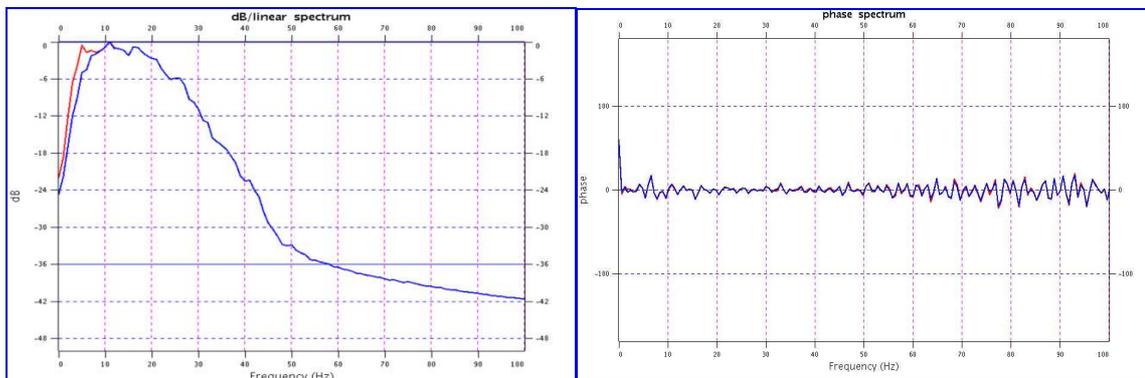


Рис. 3. Спектры при использовании линейного (а) и адаптивного нелинейного (б) свип-сигнала.

С учетом высокой информативности высокочастотных данных на участке ТКХ первым шагом обработки была компенсация в низкочастотной области. Компенсация привела к повышению уровня сигнала низкочастотной составляющей (1,5-6 Гц) более чем на 3 дБ (рис. 4) и позволила сохранить данные о глубоко залегающих слоях, полученные на низких частотах. В то же время значительно повысилось отношение сигнал/шум для глубинных интервалов. Полученные результаты подверглись обработке с высоким разрешением. Синтетические трассы для корреляции и подбора параметров деконволюции были основаны на данных по скважине Гао 1. Полученный набор характеристик (достоверность корреляции, однородность и др.) использовался для качественного анализа и оптимизации параметров деконволюции. После деконволюции с корреляцией по данным скважины частотный диапазон был расширен на 8-10 Гц. Для интерпретации использовались данные стратиграфического разреза скважины. Глубинная зона была разделена на 5 горизонтов. После определения временных интервалов для расчета поглощения по каждому из горизонтов был получен куб данных о добротности среды по всему участку работ. Компенсация частотно-зависимого поглощения привела к дальнейшему повышению отношения сигнал/шум. Эффективная полоса частот для горизонта Т4 составила

1.5-60 Гц, что соответствует поставленной задаче получения широкополосных сейсмических данных.

Ниже приведено сравнение результатов обработки по двум упомянутым методикам в диапазонах залегания основных горизонтов, литологически обособленного пласта под горизонтом Т4 и песчаников в нижней части разреза (рис. 5). На изображениях, полученных с применением широкополосной сеймики, нижележащий литологически обособленный пласт хорошо заметен и легко прослеживается по горизонтали, в то время как на изображении, полученном традиционным способом, он плохо различим, а песчаники в нижней части разреза вообще не просматриваются. Спектры по горизонту Т4 характеризуются значительным повышением амплитуд средне- и высокочастотной составляющей при использовании широкополосной сеймики. Эффективная полоса частот расширена на 8-10 Гц по сравнению с традиционной методикой и составляет от 1.5 до 60 Гц.



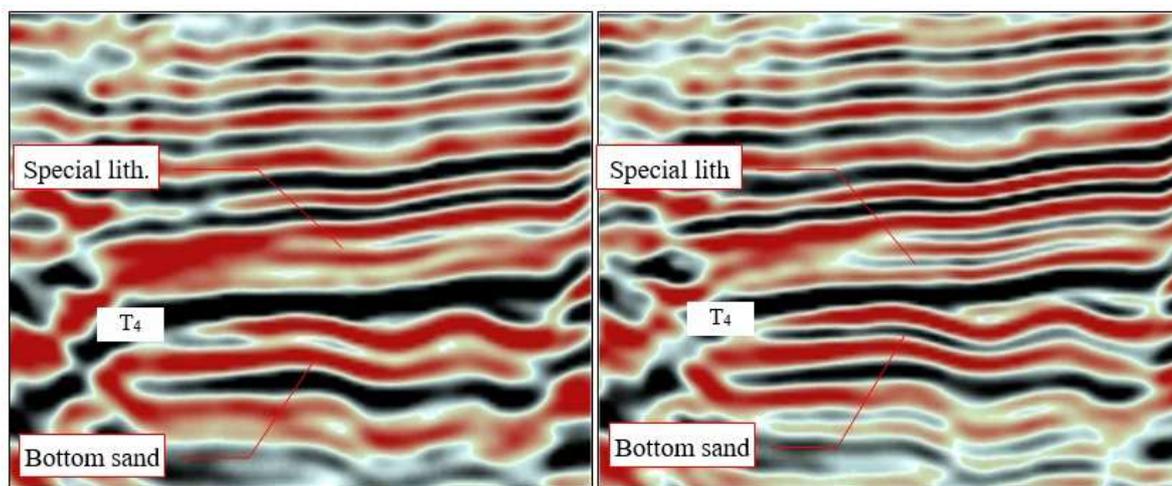
(a) Амплитудный спектр

(b) Фазовый спектр

Рис. 4. Амплитудные и фазовые спектры до (красный) и после (синий) компенсации амплитуд низкочастотной составляющей.

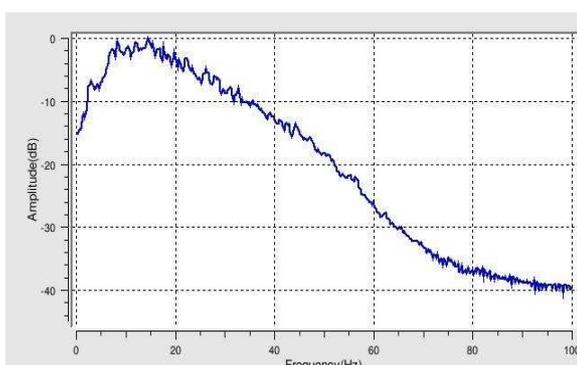
Кроме того, был выполнен анализ данных разреза акустических импедансов (рис. 6). Широкополосная сеймика позволила улучшить прослеживаемость песчаных тел и выделить еще несколько песчаных тел, в то время как возможности традиционной методики оказались ограничены выделением песчаных пластов. Из данных бурения известно, что в интервале

залегания горизонта T4 в скважине Гао 1 имеется мощное песчаное тело в составе литологически обособленного пласта и нижней части разреза. Мощность песчаников и аргиллитов по разрезу эффективных скоростей при применении широкополосной сейсморазведки хорошо согласуется с данными каротажа, в то время как результаты применения традиционной методики содержат серьезные погрешности. Использование широкополосных данных 3D в сочетании с оптимизированной методикой интерпретации позволило выявить ряд неизвестных ранее литологических ловушек. Данные о строении недр в месте бурения скважины GB1, полученные методом широкополосной сейсморазведки, а именно 1 нефтенасыщенный интервал/4 м, 2 водонефтяных зоны/6 м и 1 водонасыщенный интервал/15 м в пачке Es1, на глубине 2359-2412 м, подтверждены результатами ГИС (рис 7). Это подтверждает преимущества широкополосной сейсморазведки как метода выявления литологически-экранированных залежей.

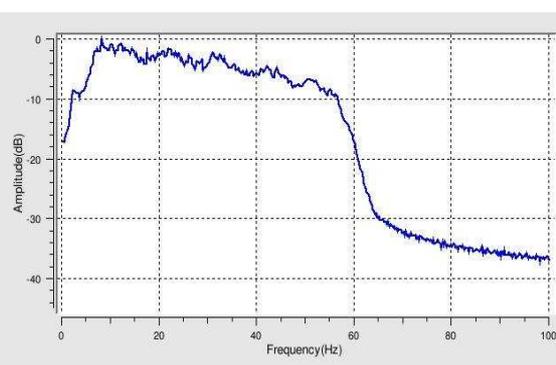


(a)

(b)



(c)



(d)

Рис. 5. Разрезы и спектры в интервале залегания объектов разведки, полученные традиционным (а, с) и широкополосный методом.

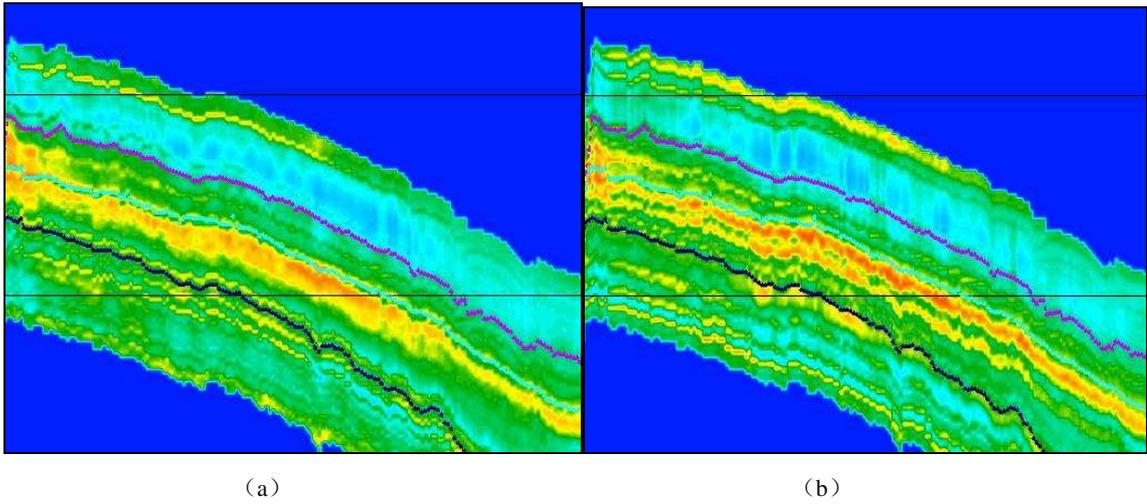


Рис. 6. Разрезы акустических импедансов при использовании традиционного (а) и широкополосного метода (б).

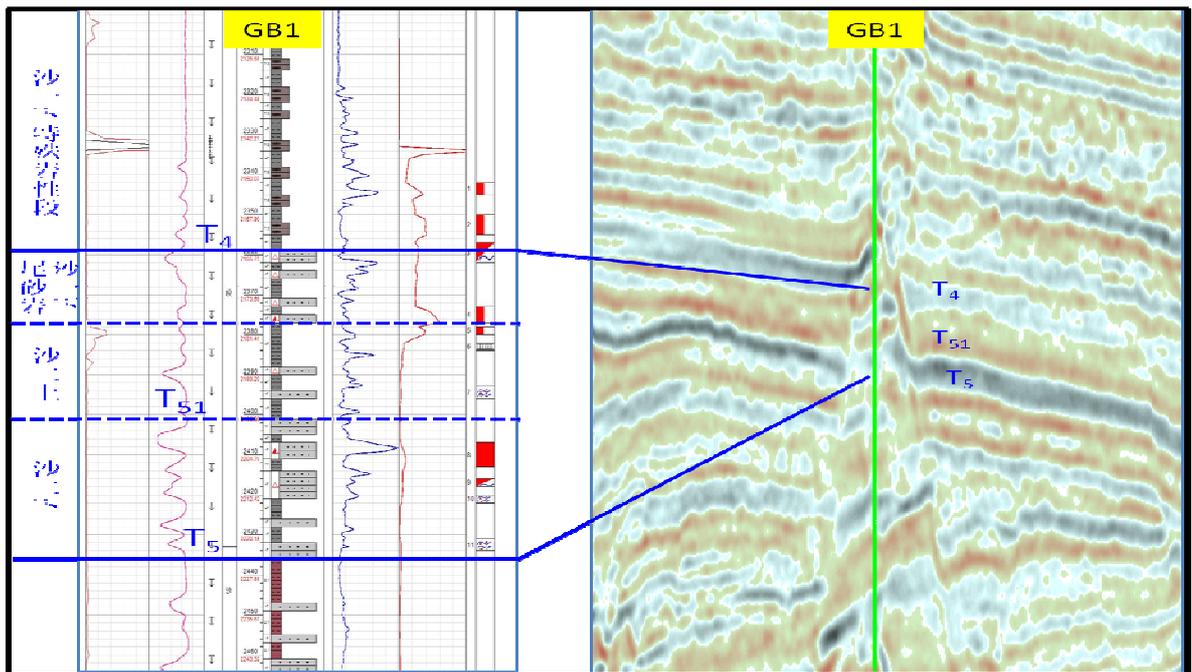


Рис. 7. Данные скважины GB1 и разрез по данным широкополосной сейсморазведки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология широкополосной вибрационной сейсморазведки позволяет расширить полосу частот сейсмических данных и представляет собой перспективный способ поиска

литологически экранированных залежей. По итогам применения этой технологии на месторождении Хуабэй можно сделать следующие выводы:

1) Адаптивная вибрационная сейсморазведка с использованием мощных низкочастотных вибраторов является основой для широкополосных сейсмических съемок. Автоматическая оптимизация нелинейных свип-сигналов позволяет повысить энергию возбуждения на высоких частотах. Наблюдаемое повышение отношения сигнал/шум в высокочастотной области ведет к расширению общей полосы частот и повышению отношения сигнал/шум в целом.

2) При обработке данных решающее значение имеет высокоточная обработка, компенсация на низких частотах с учетом характеристик исходных данных и расширение полосы высоких частот, позволяющие добиться дополнительного расширения полосы частот сейсмических данных.

Литература

Jiada Lan. The application of vibroseis nonlinear sweep in high resolution seismic acquisition [Журнал] // Geophysical prospecting. - 2008 г. - Т. 47 (2). - стр. 208-211.

Wuxiang Cao, Xianqing Li, Hongqi Guo. Design of vibroseis sweep signal by reshaping [Журнал] // Geophysical prospecting. - 2008 г. - Т. 48 (6). - стр. 611-614.

Zhifei Tao, Zhenhua Su, Yonglin Zhao, etc. The latest progress of vibroseis' low frequency excitation technology [Журнал] // Geophysical prospecting devices,. - 2010 г. - Т. 20(1). - стр. 1-7.

Жуков А.П. и др. Адаптивная виброразведка в условиях

неоднородного строения верхней части геологического разреза [Журнал] // Технологии сейсморазведки №2. - 2011 г.. - стр. 5-12.