

A013

## Using the Dynamics of Bottom Simulating Reflector (BSR) for Prediction of Gas Hydrate Content in Marine Sediments

R.L. Pevzner\* (DECO Geophysical Co. Ltd), A.L. Volkonskaya (Moscow State University), S.V. Bouriak (DECO Geophysical), A.A. Bocharova (Moscow State University) & V.N. Blinova (NK Rosneft)

### SUMMARY

---

An approach to prediction of properties of gas hydrate bearing sediments basing on the dynamics of seismic waves reflected from the bottom of the hydrate-containing layer (BSR reflection) without well information is proposed. The approach was tested on synthetic data and demonstrated accurate prediction of gas hydrate content in pore space above the BSR as well as free gas content in pore space below the BSR, with the solution being robust to random noise in the reflection amplitude values. The proposed approach was also tested on the real data from the Black Sea. The results obtained (average gas hydrate content of ~43% and average free gas content of ~1.3% of pore space) match to the previously published results from the adjacent areas.

## Введение

Подшо́ва гидрат-содержащих осадков, связанная с нижней границей зоны стабильности газовых гидратов, на сейсмических данных часто отображается как характерная, в целом, повторяющая рельеф дна, отражающая не литологическая граница, т.н. BSR, от *англ.* Bottom Simulating Reflector (Рис. 1), которая, в силу своей природы, может пересекать литологические границы.

Целью настоящей работы является попытка использовать динамические характеристики волны, отраженной от этой границы (в частности, изменение амплитуды отражения от угла подхода) для исследования свойств осадков и определения содержания гидрата в порах над границей BSR и свободного газа под этой границей.

В силу того, что скважинные данные при исследованиях на акваториях, особенно в глубоководных районах, доступны крайне ограниченно, использование

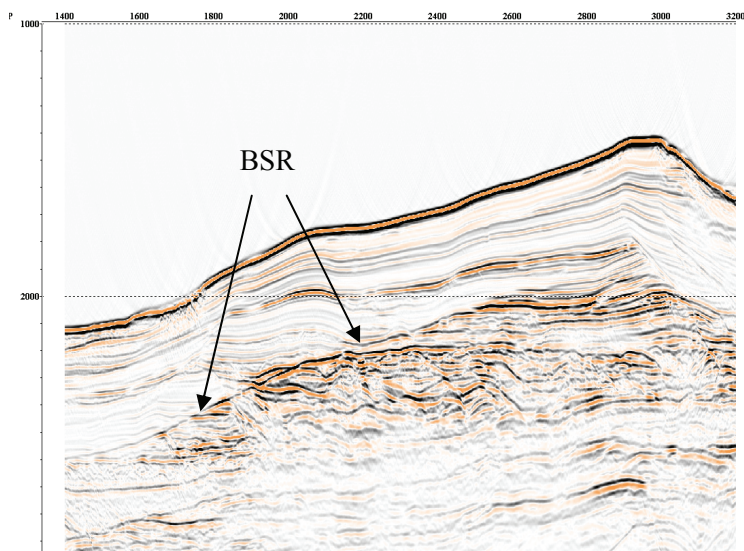


Рис. 1. Фрагмент профиля с BSR

традиционных методик, например упругой инверсии или AVO-анализа, часто оказывается невозможным.

В докладе рассмотрен подход к обращению наблюдаемой оценки коэффициента отражения от подошвы гидратсодержащего слоя, позволяющий решать указанную задачу в отсутствие скважинной информации, который был опробован на данных, полученных в Туапсинском прогибе Черного моря.

## Подход к инверсии

Пусть известна наблюдаемая оценка зависимости коэффициента отражения от угла подхода волны, отраженной от подошвы гидрат-содержащего слоя осадков. Надеяться получить такую оценку можно, так как BSR – это часто одна из самых сильных границ в разрезе [Zillmer et al. 2005]. Обращение кривой заключается в подборе свойств среды над и под границей таким образом, чтобы минимизировать среднеквадратичное отклонение наблюдаемой кривой от рассчитанной. Для расчета теоретической зависимости коэффициента отражения от угла подхода использовано уравнение Цоепприца.

Такая задача является некорректной и главная сложность заключается в том, чтобы наложить такие разумные ограничения на пространство решений, которые позволили бы добиться того, чтобы решение было единственным и находилось устойчивым образом.

Будем считать, что BSR может рассматриваться как граница, которая разделяет некоторый объем одного и того же осадка, причем все различие между верхним и нижним полупространством заключается в том, что в верхнем полупространстве поры заполнены гидратом и водой, а в нижнем – свободным газом и водой. При этом все остальные параметры (минеральный состав и структура скелета) и исходная пористость в обоих полупространствах совпадают. Это означает, что на такой границе свойства среды не могут меняться произвольным образом и, имея хорошую петрофизическую

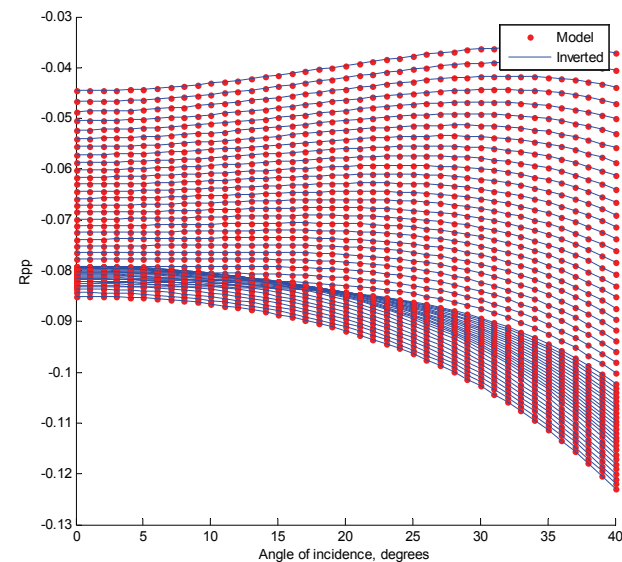
модель гидрат-содержащих осадков, можно использовать эту зависимость для того, чтобы уменьшить количество определяемых параметров.

Существует большое количество работ, посвященных петрофизическому моделированию осадков, содержащих газовые гидраты. Моделирование неконсолидированных осадков рассмотрено в работах [Avseth, P. et al. 2000, Dvorkin, J. et al. 2000, Ecker, C. et al. 2000, Guerin, G. et al. 1999]. Для определения свойств насыщенной породы по свойствам минерального скелета и флюида, используется уравнение Гассмана. При этом гидрат учитывается как часть минерального скелета либо как часть порового флюида.

Пусть минеральный состав скелета известен, тогда, используя указанную модель среды, можно уменьшить количество неизвестных параметров до трех, а именно, пористости ( $\phi$ ), насыщения пор гидратом в верхней среде ( $Sh$ ) и насыщение пор газом – в нижней ( $Sg$ ).

### Неопределенность решения обратной задачи

Для опробования подхода была рассчитана серия зависимостей коэффициента отражения от угла подхода для моделей с различной пористостью, изменявшейся от 10 до 40%. Остальные параметры модели были выбраны следующим образом.



Минеральный состав скелета 60% глин, 20% кварцевого песка, 20% Ca-Mg карбонаты (состав четвертичных осадков в Черном море по данным DSDP [Muratov et al., 1978]). Насыщение пор в верхнем слое гидратом 30%, в нижнем – газом 1%. При инверсии был ограничен диапазон изменения пористости 0-60%,  $Sh$  0-60%,  $Sg$  0-10%. Начальная точка поиска  $\phi = 30\%$ ,  $Sh=30\%$ ,  $Sg = 1\%$ . На рисунке (Рис.2) показаны модельные и подобранные кривые.

Оказалось, что устойчиво определить пористость и содержание гидрата в порах одновременно нельзя. На (рис.3) показан результат обращения приведенных выше кривых.

Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от угла подхода. Точками обозначены модельные значения, сплошными линиями – результат подбора

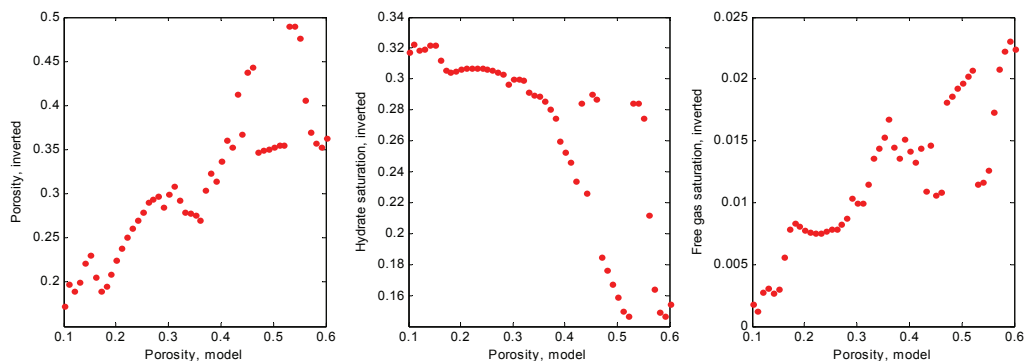


Рис. 3. Пример восстановления параметров среды

По горизонтальной оси указана пористость в модели, по вертикальной – результаты определения (а) пористости, (b) содержания гидрата, (c) содержания газа. Все величины – в долях единицы.

Однако, если зафиксировать пористость даже на неверном значении (исследовалось отклонение на  $\pm 5\%$ ), то оставшиеся два параметра определяются устойчиво, при этом искажения в определении насыщения гидратом при  $Sh > 15\%$ , укладываются в первые проценты. Также была показана устойчивость результатов обращения при фиксированной плотности к добавлению случайного шума. На (рис. 4) представлено сопоставление насыщения гидратом в модели и результаты его определения (слева) и результаты определения количества свободного газа (справа, в модели – 1%) при добавлении 30% случайного шума (от максимального значения, закон распределения равномерный).

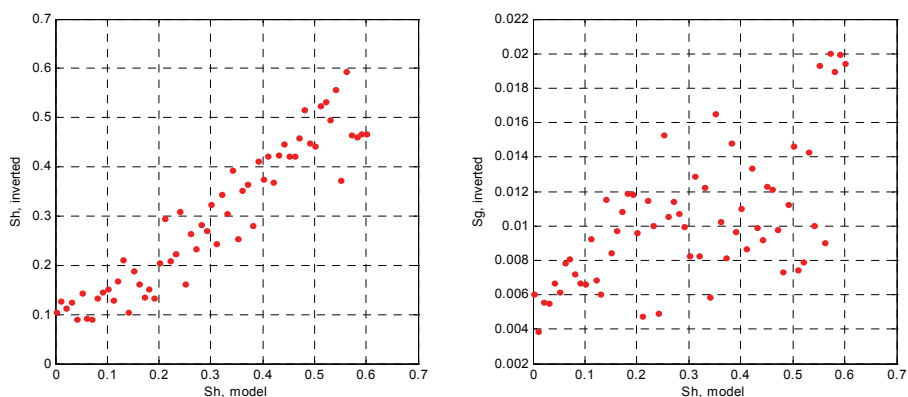


Рис. 4. Влияние случайного шума на результаты инверсии.

О целесообразности фиксировать именно пористость говорит тот факт, что

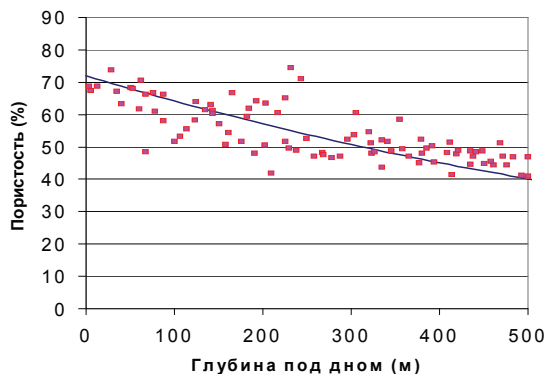


Рис. 5. Сравнение зависимости Гамильтона с результатами DSDP 42.

изменение пористости с глубиной вследствие уплотнения осадка известно и описано, например в работах Э. Гамильтона [Hamilton, E.L., 1976]:

$$\phi = 72 - 0.08165z + 0.0000361z^2,$$

где  $z$  – глубина под дном (м).

Для того, чтобы проверить применимость предложенных им зависимостей, было проведено их сравнение с результатами измерений на образцах (рис.5), полученных в результате глубоководного бурения в Черном море [John L. Usher and Peter

Supko 1975].

#### Опробование инверсии на реальных данных

Предложенный подход опробован на нескольких сейсмических профилях, полученных в Туапсинском прогибе с использованием 480-канальной системы регистрации. Длина косы составила 6 км, для возбуждения упругих колебаний использован пневмоисточник. Длительность регистрации 9 с, шаг дискретизации 2 мс. Глубина моря в тех участках, где были зафиксированы отражения - BSR превысила 1 км, глубина подошвы зоны стабильности в районе работ может достигать 500 м.

Использована следующая методика оценки коэффициента отражения от BSR. На первом этапе оценен коэффициент отражения при нормальном падении от дна или, если это было возможно – от BSR. Для этого использованы оценки амплитуды

отраженной волны и ее кратной:  $K = 2 \frac{A_{multiple}}{A_{primary}}$ , где  $A_{multiple}$  - амплитуда кратной

волны,  $A_{primary}$  - амплитуда однократного отражения. Все измерения амплитуд проводились по первому экстремуму. На этапе подготовки данных к ним применялась только полосовая фильтрация 4-10-100-200 Гц с целью подавить низкочастотную помеху обусловленную волнением моря.

Такая оценка коэффициента отражения при нормальном падении использовалась для калибровки амплитуды однократного отражения от BSR как функции от угла подхода волны. Полученная оценка корректировалась за геометрическое расхождение. Далее вводилась поправка за диаграмму направленности источника и приемной группы. Источник полагался точечным, заглупление составляло 6 м, приемная группа полагалась состоящей из 16 гидрофонов, расположенных с шагом 0.7 м, глубина приемной группы составляла 8 м. Следующей поправкой в значения амплитуд был учет влияния поглощения в слое от поверхности дна до BSR. На основании [Zillmer et al, 2005] было принято, что механическая добротность осадков составляет  $Q=100$ , поправка рассчитывалась для центральной частоты в сигнале, которая была определена равной 40 Гц.

Полученная после перечисленных процедур оценка коэффициента отражения использовалась для инверсии. Диапазон углов подхода волны составил 0-35°.

В результате применения инверсии к участку профиля, показанного на (рис. 1), были получены устойчивые значения насыщения гидратом над границей и содержания свободного газа под ней. Среднее насыщение гидратом составило ~43%, предсказанное содержание свободного газа под BSR приблизительно равно 1.5%. Этот результат хорошо согласуется с опубликованными данными по соседним районам работ [Zillmer et al., 2005].

### **Заключение**

Предложенный в докладе подход к использованию динамических характеристик отраженных волн для исследования свойств осадков, содержащих газовые гидраты, в результате тестирования на синтетических моделях продемонстрировал высокую точность определения искомым параметров при хорошей устойчивости решения к случайным помехам в значениях амплитуд отраженных волн. Подход был также опробован на реальных сейсмических данных, полученных в Туапсинском прогибе Черного моря, и полученные результаты хорошо согласуются с опубликованными данными по соседним районам работ [Zillmer et al., 2005].

### **Благодарности**

Авторы благодарят НК «Роснефть» за разрешение на публикацию материалов.

### **Литература**

- Zillmer, M., Flueh, E.R., Petersen, J., 2005. Seismic investigation of a bottom simulating reflector and quantification of gas hydrate in the Black Sea. *Geophys. J. Int.* (2005), 161, pp 662-678
- Dvorkin, J., Helgerud, M., Waite, W., Kirby, S., and Nur, A., 2000, Introduction to physical properties and elasticity models, in *Natural Gas Hydrate in Oceanic and Permafrost Environments*, M.D. Max, ed., 245-260.
- Ecker, C., Dvorkin, J., and Nur, A., 2000, Estimating the amount of gas hydrate and free gas from marine seismic data, *Geophysics*, 65, 565-573.
- Muratov, M.V., Neprochonov, Y.P., Ross, D.A. & Trimonis, E.S., 1978. Basic features of the Black Sea late cenozoic history based on the results of deep-sea drilling, Leg 42B, in *Initial Reports of the deep Sea Drilling Project, Vol.42, Part 2*, pp. 1141-1148, eds Ross, D.A. et al., US Government Printing Office, Washington.
- Hamilton, E.L., 1976: Variations of density and porosity with depth in deep-sea sediments. *J.Sediment.Petrol.*, 46, 280-300.

John L. 1975. Usher and Peter Supko: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project covering Leg 42, of the cruises of the Drilling Vessel *Glomar Challenger* May-June 1975.