

УДК 550.837

Предварительная оценка эффективности применения миграции перед суммированием данных малоуглубинной сейсморазведки при поисках локальных неоднородностей: анализ данных моделирования

Е.П. Гойес, О.Н. Ковин

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: on_kovin@psu.ru

(Статья поступила в редакцию 10 июля 2018 г.)

Проведен анализ данных, полученных при моделировании сейсмических полей малоуглубинных геологических разрезов с локальными неоднородностями, представленными различными типами карстовых форм, и их обработке с помощью программы глубинной миграции записей ОПВ методом Фурье с разделенным шагом и деконволюцией. Для расчёта сейсмических моделей и обработки полученных данных были использованы программы пакета Seismic Unix. В связи с большим объемом вычислений работы проводились на базе суперкомпьютерного комплекса Научно-образовательного центра «Параллельные и распределенные вычисления» ПГНИУ. В результате анализа данных подтверждена эффективность применения миграции до суммирования при изучении малоуглубинных локальных неоднородностей и выявлены особенности задания параметров обработки, которые оказывают влияние на качество получаемых изображений.

Ключевые слова: *миграция до суммирования, сейсмическое моделирование, малоуглубинная сейсморазведка, карстовые формы.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.292

Введение

В последнее время широкое применение получили методы миграции сейсмических данных, которые позволяют получать более точное изображение геологического разреза, чем применявшийся ранее метод общей глубинной точки (МОГТ) (Yilmaz, 1979; Claerbout, 1985; Козлов, 1986). На ранних стадиях развития метода миграция использовалась в основном для коррекции положения наклонных отражающих границ. Сейчас процедуры миграции входят в стандартный граф обработки ведущих компаний при поисках месторождений нефти и газа. В настоящее время разработано большое количество программ и алгоритмов проведения миграционных преобразований (Gray et al, 2001). Миграция после суммирования используется в основном для вос-

становления корректного положения наклонных границ, миграция до суммирования дает возможность получить более точное изображение сложнопостроенных сред (Yilmaz et al., 1980; Audebert et al, 1997). При детальном исследовании сложных геологических объектов наиболее эффективными оказались методы глубинной миграции (Gray et al, 2001).

В связи со значительной изменчивостью скоростных характеристик верхней части разреза использование метода МОГТ имеет ряд свойственных ему ограничений, особенно при изучении локальных неоднородностей. Использование методов миграции может существенно повысить качество восстановления сейсмического изображения таких сложных геологических структур, как карстовые образования разных форм. Опыт ранее прове-

денных исследований показал эффективность программ миграции до суммирования при обработке данных малоглубинной сейсморазведки (Bradford et al., 2002; Bradford et al., 2006; Basak et al., 2008). При использовании новых методов обработки или обработки данных для новых объектов изучения целесообразно проводить предварительную оценку алгоритмов и их параметров на примере модельных данных (Редекон и др., 2008). Для оценки возможностей алгоритмов миграции сейсмических данных до суммирования при локации подземных полостей нами были проведены предварительные исследования на примере данных моделирования полного волнового поля.

Методика, параметры и обсуждение результатов вычислительного эксперимента

На данном этапе исследований использовались возможности известного программного пакета Seismic Unix (SU), разработанного в Горной школе Колорадо (Stockwell, 2008). Он включает в себя широкий спектр программ моделирования и обработки сейсмических данных для работы в среде Unix/Linux. В связи с большим объемом вычислений моделирование сейсмических данных и их обработка были проведены на базе суперкомпьютерного комплекса Научно-образовательного центра «Параллельные и распределенные вычисления» ПГНИУ.

Для вычислений была использована упрощенная модель подземной полости, заполненной материалом разрушения, и соответствующего распределения скоростей продольных, поперечных волн и плотностей (рис. 1). Параметры разреза даны в таблице.

Параметры структурных элементов разреза

Элемент	V_p , м/с	V_s , м/с	ρ , кг/м ³
Слой 1	1000	534	1890
Слой 2	2000	1198	2300
Слой 3	1000	534	1890
Полость	400	109	1300

Моделирование сейсмических данных проводилось полноволновым конечно-разностным методом (Operto et al., 2007) с помощью программы SUEA2DF ((an)-elastic anisotropic 2D finite difference forward modeling).

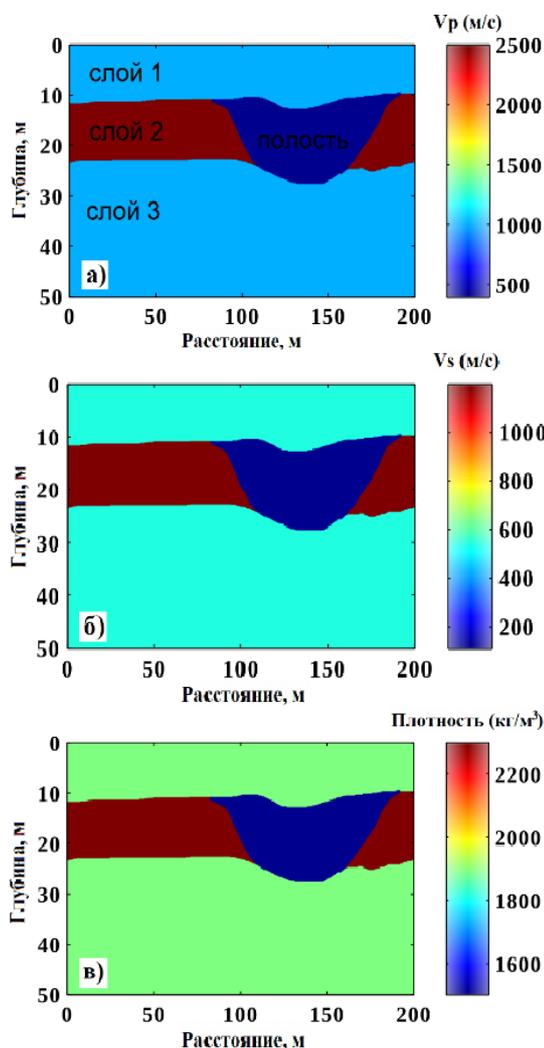


Рис. 1. Модель распределения физических параметров разреза: а – скорости продольных волн; б – скорости поперечных волн; в – плотность

Модель разреза размером 200x50 м была использована для расчета 101 сейсмограммы при шаге пунктов возбуждения 2 м. Моделируемая система наблюдений – центральная с раскрытием и закрытием. Длина записи – 100 мс. Средняя частота – 200 Гц. Интервал дискретизации – 0,02 мс. Форма сигнала – производная функции Гаусса.

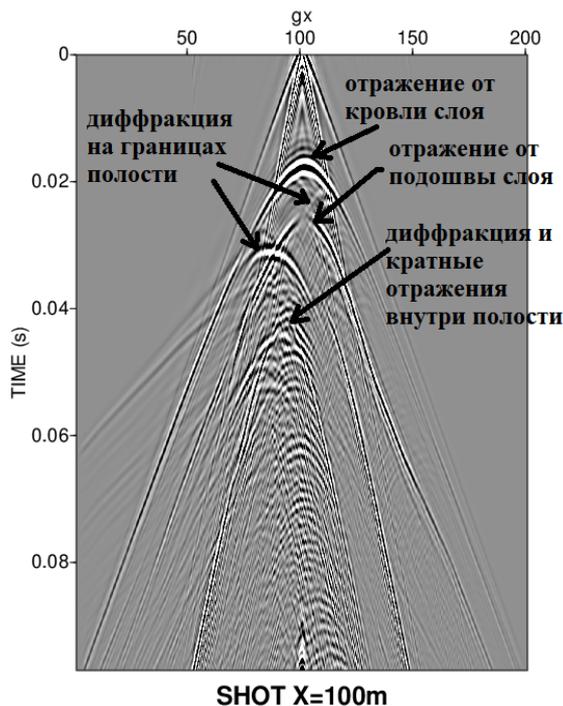


Рис. 2. Модель сейсмограммы, полученной при $X_{ПВ}=100$ м

В результате полноволнового моделирования (Levander, 1988) рассчитываются все характеристики волнового поля: пространственно-временное изменение сигнала, его фаза, амплитуда, форма для всех типов волн (продольные, поперечные, поверхностные, обменные, кратные и т.д.). В данном эксперименте модельные данные рассчитывались без учета затухания и анизотропии. Пример модели сейсмограммы ОПВ, полученной при $X_{ПВ}=100$ м, показан на рис. 2.

Рассчитанные по сейсмическому профилю модельные данные были преобразованы в изображение среды с использованием программы SUMIGPRESP, реализующей алгоритм миграции общего пункта возбуждения (ОПВ) методом Фурье с разделенным шагом и деконволюцией (split-step Fourier shot-record migration with deconvolution imaging) (Hardin et al., 1973; Lee et al., 1991; Bogomolov et al., 2006). Преимуществом данного метода является то, что обработка в частотной области позволяет значительно сократить размер используемой компьютерной памяти и соответственно увеличить скорость выполнения задания.

В результате миграции получен глубинный разрез, где уверенно локализуется область расположения полости (рис. 3). С высокой степенью достоверности восстановлены верхняя и боковые границы объекта. Нижняя граница выделяется недостаточно точно, что, возможно, связано с влиянием помех, представленных многократными отражениями внутри полости. В ходе работ была отмечена существенная зависимость качества получаемых изображений от точности задания скоростной модели и параметров фильтра, используемого для уменьшения влияния хвостов функции Грина.

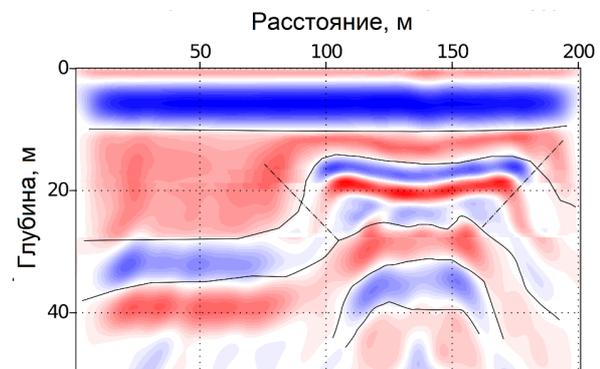


Рис. 3. Изображение среды, полученное с помощью программы SUMIGPRESP. Границы полости отмечены пунктирными линиями

Заключение

Данные, полученные в результате экспериментальных работ, подтвердили эффективность использования методов миграции до суммирования для изучения малоглубинных разрезов со сложным строением. Для повышения качества получаемых с помощью данного алгоритма сейсмических изображений рекомендуется особое внимание уделять точности задания скоростной модели среды и параметров фильтра.

Библиографический список

- Козлов Е.А. Миграционные преобразования в сейсморазведке. М.: Недра, 1986. 247 с.
 Редекон В.А., Бондарева Н.В., Помазанов В.В., Касимов А.Н., Чкуасели В.Ф. Оценка возможностей программы сеточной миграции meikon2d на основе полноволнового моде-

- лирования структурных неоднородностей среды применительно к наблюдениям НВСП // *Seismic Technology*. 2008. Vol. 5, № 4. С. 48-53
- Audebert F., Nichols D., Rekdal T., Biondi B., Lumley D.E., Urdaneta H.* Imaging complex geologic structure with single arrival Kirchhoff prestack depth migration // *Geophysics*. 1997. Vol. 62. С. 1533–1543. doi: 10.1190/1.1444256
- Basak R.L., Sarma P.L.N., Rao A.K.* PSDM as Diagnostic Tool to validate the Existence of Shallow Lime Stone in Palk Bay Area // Intern. Conf. and Expos. on Petroleum Geophysics / Hyderabad. 2008. С. 256-260.
- Bogomolov Ya.I., Yunakovskiy A.D.* Split-step Fourier method for nonlinear Schrodinger equation // Days on Diffraction / Proc. of Intern. Conf. 2006. С. 34-42.
- Bradford J.H., Sawyer D.* Depth Characterization of Shallow Aquifers with Seismic Reflection, Part II—Prestack Depth Migration and Field Examples // *Geophysics*. 2002. Vol. 67, № 1. С. 89-97. doi: 10.1190/1.1451372
- Bradford J.H., Liberty L.M., Lyle M.W., Clement W.P., Hess S.* Imaging complex structure in shallow seismic-reflection data using prestack depth migration // *Geophysics*. 2006. Vol. 71, № 6. С. B175–B181. doi: 10.1190/1.2335659
- Claebout J.F.* Imaging the Earth's interior. Blackwell Scientific Publications. 1985.
- Gray S.H., Etgen J., Dellinger J., Whitmore D.* Seismic migration problems and solutions // *Geophysics*. 2001. Vol. 66, № 5. С. 1622–1640. doi: 10.1190/1.1487107
- Hardin R.H., Tappert F.D.* Application of the split-step Fourier method to the numerical solution of nonlinear and variable coefficient wave equation // *SIAM review*. 1973. Vol. 15. С. 423.
- Lee D., Mason I.M., Jackson G.M.* Split-step Fourier shot-record migration with deconvolution imaging // *Geophysics*. 1991. Vol. 56, № 11. С. 1786-1793. doi: 10.1190/1.1442991
- Levander A.R.* Fourth-order finite-difference P-SV seismograms // *Geophysics*. 1988. Vol. 53, № 11. С. 1425 – 1436 doi: 10.1190/1.1442422
- Operto S., Virieux J., Amestoy P., l'Excellent J., Giraud L., Ali H.* 3D finite difference frequency-domain modeling of visco-acoustic wave propagation using a massively parallel direct solver: A feasibility study // *Geophysics*. 2007. Vol. 72, № 5. С. M195-SM211. doi: 10.1190/1.2759835
- Stockwell J.W., Cohen J.K.* The New SU User's Manual. Center for Wave Phenomena. Colorado School of Mines. 2008.
- Yilmaz O.* Pre-stack partial migration. Ph.D. Thesis. Stanford University. 1979.
- Yilmaz O., Claebout J.F.* Prestack partial migration // *Geophysics*. 1980. Vol. 45, № 12. С. 1753–1777. doi: 10.1190/1.1441064

Preliminary Feasibility Assessment of the Shallow Seismic Data Pre-stack Migration for the Local Inhomogeneities Location: Analysis of Modeling Data

E.P. Goyes, O.N. Kovin

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: on_kovin@psu.ru

Usage the seismic reflection for study of the shallow complex voids bearing medium is the very challenging problem. Development and successful application of the migration algorithms allowed significantly improving delineation of the complicated geological structures especially in the oil and gas exploration. We analyzed the modeling data to assess the feasibility of the 2D pre-stack common-shot split-step Fourier migration to locate the shallow underground local inhomogeneities such as voids filled with the host rock debris. Migration of the modeling data showed the clear image of the upper part of the void. However, an image of the lower interface is distorted with the artifacts caused by multiples formed inside the void.

Key words: *pre-stack migration; seismic modeling; shallow seismic; karstic forms.*

References

- Kozlov E.A.* 1986. Migratsionnye preobrazovaniya v seysmorazvedke [Seismic migration transformations]. Nedra. Moskva. p. 247 (in Russian)
- Redekop V.A., Bondareva N.V., Pomazanov V.V., Kasimov A.N., Chkauseli V.F.* 2008. Otsenka vozmozhnostey programmy setochnoy migratsii meikon2d na osnove polnovolnovogo modelirovaniya struktur-nykh neodnorodnostey sredey primenitelno k nablyudeniym NVSP [Assessment the feasibilities of the grid migration program meikon2d based on the full-wave modeling of structure inhomogeneities according to the VSP technique]. Seismic Technology. 5(4): 48-53 (in Russian)
- Audebert F., Nichols D., Rekdal T., Biondi B., Lumley D.E., Urdaneta H.* 1997. Imaging complex geologic structure with single arrival Kirchhoff prestack depth migration. Geophysics. 62: 1533 – 1543 doi: 10.1190/1.1444256
- Basak R.L., Sarma P.L.N., Rao A.K.* 2008. PSDM as Diagnostic Tool to validate the Existence of Shallow Lime Stone in Palk Bay Area. In Proc. Intern. Conf. and Expos. on Petroleum Geophysics. Hyderabad 2008, pp. 256-260
- Bogomolov Ya.I., Yunakovskiy A.D.* 2006. Split-step Fourier method for nonlinear Schrodinger equation. In Days on Diffraction. Proc. of Intern. Conf. pp. 34-42
- Bradford J.H., Sawyer D.* 2002. Depth Characterization of Shallow Aquifers with Seismic Reflection, Part II—Prestack Depth Migration and Field Examples. Geophysics. 67(1): 89-97 doi: 10.1190/1.1451372
- Bradford J.H., Liberty L.M., Lyle M.W., Clement W.P., Hess S.* 2006. Imaging complex structure in shallow seismic-reflection data using prestack depth migration. Geophysics. 71(6): B175–B181 doi: 10.1190/1.2335659
- Claebout J.F.* 1985. Imaging the Earth's interior. Blackwell Scientific Publications.
- Gray S.H., Etgen J., Dellinger J., Whitmore D.* 2001. Seismic migration problems and solutions. Geophysics. 66(5): 1622–1640 doi: 10.1190/1.1487107
- Hardin R.H., Tappert F.D.* 1973. Application of the split-step Fourier method to the numerical solution of nonlinear and variable coefficient wave equation. SIAM review. 15: 423
- Lee D., Mason I.M., Jackson G.M.* 1991. Split-step Fourier shot-record migration with deconvolution imaging. Geophysics. 56(11): 1786-1793 doi: 10.1190/1.1442991
- Levander A.R.* 1988. Fourth-order finite-difference P-SV seismograms. Geophysics. 53(11): 1425 – 1436 doi: 10.1190/1.1442422
- Operto S., Virieux J., Amestoy P., l'Excellent J., Giraud L., Ali H.* 2007. 3D finite difference frequency-domain modeling of visco-acoustic wave propagation using a massively parallel direct solver: A feasibility study. Geophysics. 72(5): M195-SM211 doi: 10.1190/1.2759835
- Stockwell J.W., Cohen J.K.* 2008. The New SU User's Manual. Center for Wave Phenomena. Colorado School of Mines.
- Yilmaz O.* 1979. Pre-stack partial migration. Ph.D. Thesis. Stanford University.
- Yilmaz O., Claebout J.F.* 1980. Prestack partial migration. Geophysics. 45(12): 1753–1777 doi: 10.1190/1.1441064