

ПОСТРОЕНИЕ ОТРАЖАЮЩИХ ГРАНИЦ ПО НАБЛЮДЕННЫМ ГОДОГРАФАМ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАДИЕНТНОЙ МОДЕЛИ ПОКРЫВАЮЩЕЙ СРЕДЫ

О.Н. Вылегжанин, С.А. Рыбалка

Томский политехнический университет

E-mail: onv@am.tpu.ru

Предложен способ расчета точек отражающей границы по материалам метода вертикального сейсмического профилирования. Способ основан на лучевой модели распространения акустического луча, скоростной модели градиентной покрывающей среды, и предположении о горизонтальности отражающей площадки. Показано, что задача может быть сведена к последовательности оптимизационных задач. Разработан алгоритм, реализующий предложенный способ. Приводится пример расчета отражающих границ при обработке материалов вертикального сейсмического профилирования, полученных на одной из разведочных площадей Томской области.

Ключевые слова:

Вертикальное сейсмическое профилирование, построение отражающих границ, лучевая модель, градиентная среда.

Key words:

Vertical seismic profiling, reflector imaging, ray approximation, gradient model.

Одной из важнейших задач, решаемых методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) является исследование околоскважинного пространства [1]. С этой целью по результатам наблюдений с удаленных пунктов возбуждения строятся глубинные или временные разрезы, аналогичные временным разрезам, получаемым в методе общей глубинной точки [2]. Исходными данными для получения таких разрезов являются поля отраженных волн, полученные в результате фильтрации наблюдаемых сейсмических волновых полей. Задача восстановления временных разрезов по сейсмическим полям, наблюдаемым в методе ВСП, сводится к задаче восстановления волнового поля в некоторый заданный момент времени, т. е. к задаче миграции.

Обычным подходом, применяемым в сейсмической геофизике для решения задачи миграции в методе ВСП, является метод Кирхгофа [3]. Предлагаются также различные лучевые схемы построения указанных разрезов. Однако, в известных нам работах применяется либо модель средних скоростей либо однороднослоистая модель. В первом случае модель предполагает лишь прямолинейное распространение акустического луча в среде, а во втором — положение точек, лежащих по разные стороны от границы слоев, изменяется «скачком», что проявляется в появлении изломов на рассчитанной границе. В настоящей работе предлагается решение задачи построения временных разрезов по данным метода ВСП на основе лучевой модели распространения сейсмического сигнала в градиентной среде, т. е. в предположении, что скорость является непрерывной функцией от глубины.

Задача построения временных разрезов может быть разделена на две подзадачи: первая — преобразование прослеженных на сейсмограмме ВСП вертикальных годографов отраженных волн в горизонтальные годографы, соответствующие отра-

жающим границам, вторая — получение оператора преобразования сейсмограммы ВСП во временной разрез (оператора миграции) и применение полученного оператора к сейсмограммам ВСП, наблюдаемым из удаленных пунктов взрыва. В настоящей работе предлагается метод решения первой подзадачи.

Рассмотрим эту задачу. Акустический луч с параметром P выходит из источника, расположенного в точке с координатами $\{x_{\text{ист}}, y_{\text{ист}}, z_{\text{ист}}\}$, проходит через геологическую среду до отражающей границы и, отразившись от точки с неизвестными координатами, попадает в приемник, находящийся в скважине в точке с координатами $\{x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}}, z_{\text{пр}}\}$. Напомним, что параметр луча определяется как $P = V^{-1} \sin \alpha$, где α — угол между лучом и вертикалью, а V — скорость луча в данной среде. Таким образом, параметр луча не меняется при изменении скорости распространения сигнала. Траектория луча лежит в вертикальной плоскости $D\{x, y, z\}$, проходящей через источник и приемник:

$$D(x, y, z) = \begin{cases} 0 \leq z \leq h_{\text{заб}} \\ x = x_{\text{пр}} + \gamma(x_{\text{ист}} - x_{\text{пр}}), \\ y = y_{\text{пр}} + \gamma(y_{\text{ист}} - y_{\text{пр}}) \end{cases}$$

где $h_{\text{заб}}$ — глубина забоя скважины; γ — безразмерный параметр. Наблюдаемое время пробега луча $t_{\text{пр}}$. Необходимо найти координаты точки отражения $\{x_{\text{отр}}, y_{\text{отр}}, z_{\text{отр}}\}$.

Введем некоторые допущения относительно условий распространения луча. Будем полагать, что: а) среда является латерально изотропной, градиентной, в которой скорость распространения сейсмического луча зависит только от глубины и равна $V(z)=f(z)$; б) отражающая площадка горизонтальна.

При перемещении луча в градиентной среде величина изменения его координаты (сейсмический снос) равна [4]:

$$x(h) = \int_0^h \frac{PV(z)}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} dz,$$

а время пробега [5]:

$$t(h) = \int_0^h \frac{P}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} dz.$$

При отражении от горизонтальной площадки параметр луча не меняется, и совпадают траектории лучей, проходящего из точки a в точку b и идущего в обратном направлении. Следовательно, траекторию искомого луча можно построить, прокладывая лучи с параметром P из источника и приемника до их пересечения, т. е. до точки отражения. Параметр P этих лучей должен удовлетворять уравнению:

$$\int_{h_s}^{h_i} \frac{PV(z)dz}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} + \int_{h_i}^{h_r} \frac{PV(z)dz}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} = L,$$

где h_s , h_r — глубины источника и приемника; h_i — глубина точки пересечения лучей; L — расстояние между устьем скважины и пунктом взрыва. Это уравнение имеет множество решений на H — интервале допустимых значений глубин h_i и Ω — множестве допустимых значений параметра P . Выберем ту пару значений (h_i, P) , для которых расчетное время пробега луча будет минимально отличаться от наблюдаемого t_r . Таким образом, значение параметра луча P^* является решением оптимизационной задачи:

$$P^* = \arg \min_{\substack{h_i \in H \\ P \in \Omega}} \left| t_r - \int_{h_s}^{h_i} \frac{Pdz}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} - \int_{h_i}^{h_r} \frac{Pdz}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} - \Delta t \right|, \quad (1)$$

где Δt — статическая поправка. Точка пересечения лучей, проложенных из источника и из приемника, будет соответствовать точке отражения луча. Допустимая область при решении задачи (1) определяется следующим образом: нижний предел значений параметра P соответствует вертикальному падению луча, а верхний — условию полного внутреннего отражения, т. е. $1/V_{\max} \geq P \geq 0$. Интервал изменений глубины h устанавливается, исходя из геологии района.

Применив описанную процедуру ко всем точкам прослеженных годографов, получим множество точек отражающих границ.

Для реализации процедуры расчета остается выбрать способ определения скорости как функции от глубины, статической поправки Δt , а также метод решения оптимизационной задачи (1). Для определения зависимости скорости от глубины предлагается использовать следующий подход. Построить приведенный к вертикали годограф прямой падающей волны, аппроксимировать его полиномом минимального порядка [5]. Тогда функция скорости от глубины может быть получена

из соотношения:

$$V(h) = \frac{1}{\partial \Pi(h) / \partial h}, \quad (2)$$

где $\Pi(h)$ — полином, аппроксимирующий вертикальный годограф.

Для вычисления статической поправки определим параметр луча, выходящего из источника и попадающего в точку пересечения годографов падающей волны и соответствующей отраженной. Параметр $P_{\text{опт}}$ определяется из следующего уравнения:

$$L - \int_{h_s}^{h_{\text{оп}}} \frac{PV(z)dz}{\sqrt{1-P^2V(z)^2}} = 0.$$

Тогда примем в качестве статической поправки:

$$\Delta t = t_{\text{ип}} - \int_0^h \frac{P_{\text{опт}} dz}{\sqrt{1-P_{\text{опт}}^2V(z)^2}}.$$

Поскольку оптимизационная задача (1) зависит только от одного аргумента, для ее решения можно использовать метод золотого сечения [6].

Для проверки работоспособности предложенного алгоритма были проведены тестовые расчеты геометрии отражающих границ на модельных волновых полях. Проверялась возможность учета отклонений формы отражающей границы от линейной. На рис. 1 показаны две заданные отражающие границы, содержащие линейные участки, отклоняющиеся от горизонтальной линии. Расчетное волновое поле для заданной модели строилось методом, описанным в [7, 8]. На этом волновом поле были прослежены годографы отраженных волн, которые показаны на рис. 2. На рис. 3 показаны рассчитанные по вышеописанной процедуре отражающие границы. Как видно из рисунка, геометрия рассчитанных отражающих границ хорошо согласуется с заданными отражающими границами модели. Таким образом, результаты тестовых расчетов на модельных данных подтверждают работоспособность предлагаемого способа построения отражающих границ по наблюдаемым годографам отраженных волн.

В качестве демонстрационного примера приведем результаты расчета отражающих границ по данным ВСП, полученным на одной из разведочных скважин Томской области. Обработывалась сейсмограмма, полученная с пункта возбуждения, удаленного от устья скважины на 1795,5 м. На исходной сейсмограмме был прослежен годограф прямой продольной волны, а затем, методом узкополосной фильтрации, из исходной сейсмограммы было выделено поле восходящих волн, на котором в интервале глубин от 2330 до 3000 м, что соответствует интервалу нижнемеловых — юрских отложений, были прослежены 6 годографов отраженных волн. На рис. 4 показаны прослеженные годографы падающей и отраженных волн, а в табл. 1 — глубины точек пересечения годографов отраженных волн с годографом падающей волны.

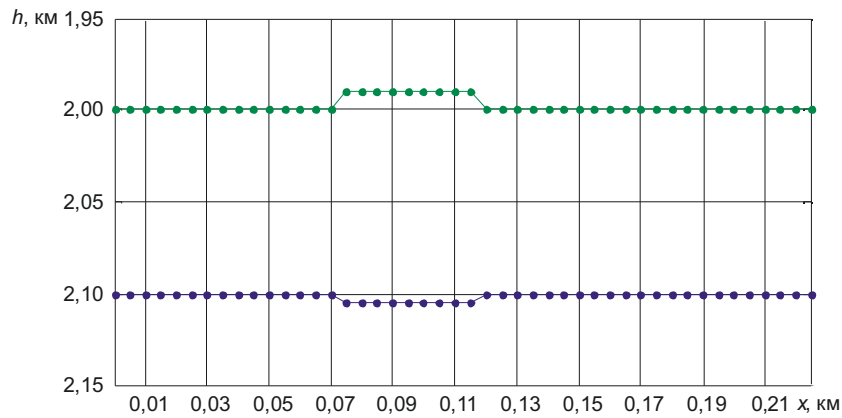


Рис. 1. Геометрия заданных отражающих границ

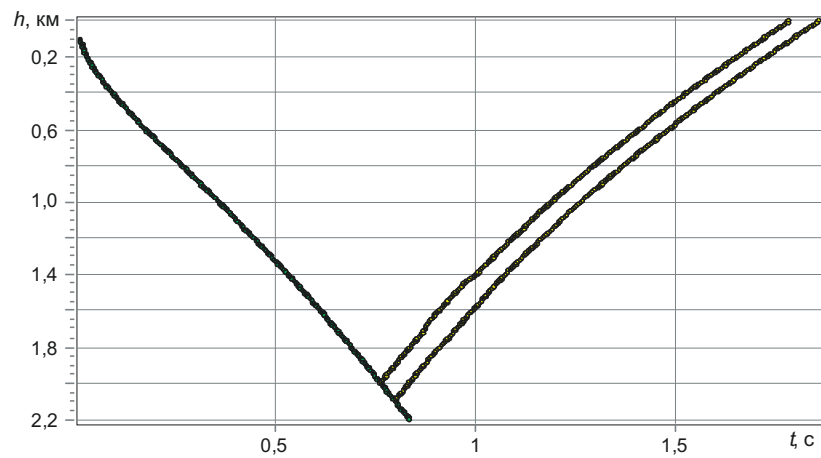


Рис. 2. Годографы падающей и отраженных волн для модельного поля

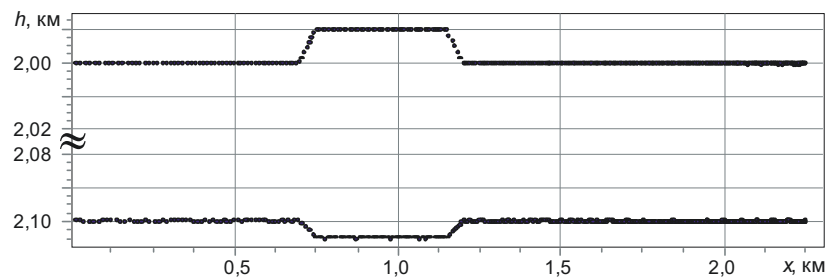


Рис. 3. Отражающие границы, рассчитанные для заданной модели

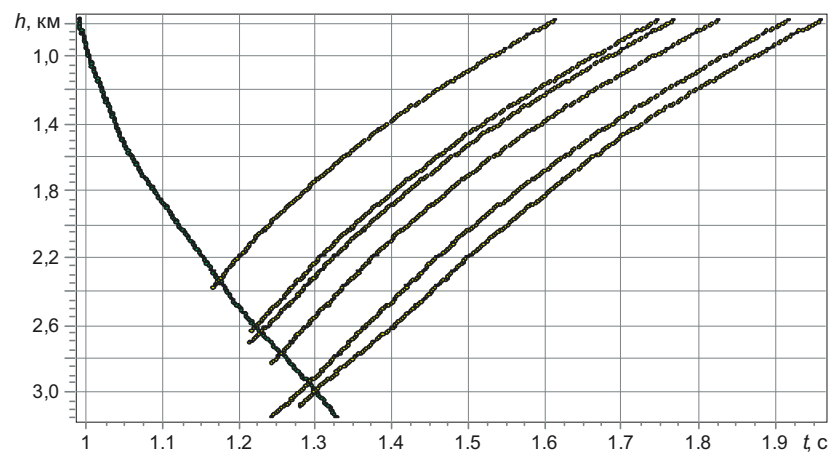


Рис. 4. Годографы падающей и восходящих волн демонстрационного примера

Таблица 1. Рассчитанные глубины точек пересечения годографов восходящих волн с годографом прямой падающей волны

Глубина, м	Время, с
2336,68	1,17462
2613,04	1,22270
2648,64	1,22966
2773,71	1,25597
2952,64	1,29248
2998,69	1,30076

По результатам аппроксимации годографа прямой падающей волны, прослеженного на сейсмограмме с ближайшего пункта взрыва, получен полином четвертой степени, из которого, в соответствии с соотношением (2), получили функцию скорости от глубины:

$$\frac{\partial \Pi(h)}{\partial h} = 0,55557068 + 0,00101786h - 4,0339281 \cdot 10^{-7} h^2 + 3,13622661 \cdot 10^{-11} h^3.$$

Таблица 2. Рассчитанные значения параметра луча P и статической поправки для точек пересечения горизонтальных годографов со скважиной

Значения параметра $P \cdot 10^4$	Статическая поправка, мс
2,20	17,5
2,02	18,9
1,99	18,7
1,90	16,7
1,79	16,5
1,77	18,0

С использованием этой скоростной модели были рассчитаны вышеописанным методом точки отражающих границ. В табл. 2 приведены результаты расчета статических поправок для прослеженных годографов восходящих волн, а в табл. 3 приведены результаты расчета отражающей границы для второго годографа. В табл. 3 приведены только первые двадцать точек границы, поскольку годо-

граф состоит из 187-и точек, и таблица, содержащая их все, заняла бы слишком много места.

Таблица 3. Результаты расчета точек отражающей границы для второго годографа

h , м	t , с	x , м	y , м	z , м
800	1,748764	296493,279	6147531,793	2613,212
810	1,744944	296496,509	6147521,209	2613,622
820	1,741146	296499,889	6147510,135	2614,724
830	1,737326	296502,980	6147500,007	2615,076
840	1,733493	296506,050	6147489,947	2615,496
850	1,729680	296509,062	6147480,080	2615,938
860	1,725848	296511,989	6147470,487	2616,191
870	1,722000	296514,918	6147460,891	2616,691
880	1,718202	296517,725	6147451,695	2616,872
890	1,714348	296520,542	6147442,461	2617,266
900	1,710500	296523,166	6147433,867	2617,014
910	1,706702	296525,879	6147424,975	2617,359
920	1,702854	296528,438	6147416,591	2617,152
930	1,699056	296531,030	6147408,099	2617,312
940	1,695236	296533,599	6147399,680	2617,461
950	1,691410	296536,133	6147391,379	2617,652
960	1,687590	296538,609	6147383,266	2617,750
970	1,683764	296541,061	6147375,232	2617,934
980	1,679944	296543,432	6147367,462	2617,856
990	1,676146	296545,777	6147359,780	2617,801

На рис. 5 показаны результаты расчета отражающих границ.

Как показывают результаты расчета модели и демонстрационного примера, предлагаемый метод позволяет в рамках принятых допущений рассчитывать положение точек отражающей границы, включая особенности геометрии типа воздыманий и погружений. Верификация полученных результатов возможна лишь путем сопоставления рассчитанного сейсмического сноса и времени пробега соответствующего луча. Как следует из приведенных результатов, вычисленные статистические поправки находятся в пределах значений, характерных для учета зоны малых скоростей.

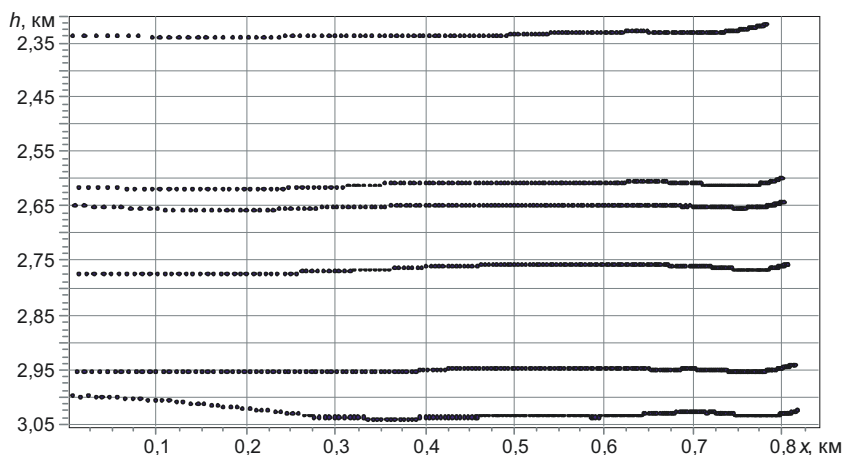


Рис. 5. Рассчитанные отражающие границы для демонстрационного примера

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. Опыт и результаты. — М.: Наука, 1994. — 320 с.
2. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка. — 3-е изд., перераб. — М.: Недра, 1980. — 551 с.
3. Клаербоут Д.Ф. Сейсмическое изображение земных недр. — М.: Недра, 1989. — 405 с.
4. Пузырев Н.Н. Методы сейсмических исследований. — Новосибирск: Наука, 1992. — 236 с.
5. Аппроксимация годографов сейсмических волн полиномами минимального порядка при их автоматическом прослеживании: В сб.: Аналого-цифровые вычислительные системы и их применение / Вылегжанин О.Н., Иванченков В.П.; Томск. политехн. ин-т. — Томск, 1989. — С. 179–186. — Рус. — Деп. ВИНТИ 19.12.1989, № 7493 — В89.
6. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. — М.: Высшая школа, 2008. — 544 с.
7. Лоссовский Е.К. Теоретические сейсмограммы на идеализированных моделях нефтегазовой залежи // Геофизический журнал. — 1982. — Т. 4. — № 5. — С. 26–35.
8. Лоссовский Е.К., Гордиенко Л.Я., Макачук Л.С. Синтетические сейсмограммы на идеализированных моделях нефтегазовой залежи // Геофизический журнал. — 1985. — Т. 7. — № 4. — С. 42–54.

Поступила 08.04.2010 г.

УДК 550.834.05

ПРИМЕНЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ИНТЕРПРЕТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА НЕФТЬ И ГАЗ (ВОСТОК ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

С.В. Зимина*, Г.И. Тищенко, К.Ю. Смирнова, О.Д. Елисеева

*Томский политехнический университет

Томский филиал ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья»

E-mail: zimina-70@mail.ru

На основе геолого-геофизической изученности восточных районов Томской области выполнен ряд геологических задач. Осуществлено районирование прогнозно-нефтегазоперспективных территорий по аномальным сейсмическим эффектам в мезозойских отложениях. Установлено, что разработанная методика с применением новых технологий прогноза залежей углеводородов может быть использована при проведении геологоразведочных работ для дальнейшего изучения территории. Сделан вывод о размещении прогнозно-перспективных локализованных участках на территории исследования.

Ключевые слова:

Комплекс методов, залежь, сейсморазведочные работы.

Key words:

Complex of methods, accumulation, seismic survey.

Уже более полувека в геологической литературе идет диспут о перспективах нефтегазоносности мезозоя юго-востока Западной Сибири. По этому поводу существуют различные мнения, в том числе и о высоких перспективах нефтегазоносности этих районов [1, 2]. С другой стороны, А.Э. Конторович и др. (1975 г.) [3] эти территории показал как мало-перспективные для поисков скоплений углеводородов в мезозое или как бесперспективные.

В рамках государственного контракта рассматривается территория правобережья р. Оби, включая Восточно-Пайдугинскую впадину и прилегающие территории вдоль регионального профиля «Южсибгеосейс-1» (рис. 1). Анализ геолого-геофизической изученности показал, что восточные районы Томской области исследовались неравномерно. Только с 1996 г. началось планомерное выполнение региональных сейсморазведочных работ МОГТ-2Д. Объемы бурения параметрических скважин остаются небольшими — на 36 площадях

пробурено 58 скважин, из них 5 — опорных и 16 — параметрических. Тем не менее, накопленная информация позволяет, используя различные методики прогнозирования углеводородных скоплений, дать оценку перспектив нефтегазоносности мезозойских отложений Восточно-Пайдугинской впадины и прилегающих территорий.

Для достижения поставленной цели на рассматриваемой территории специалисты ТФ СНИИГГиМС провели детальный комплекс исследований геолого-геофизической информации, включающий методику прогнозирования углеводородных скоплений по аномальным сейсмическим эффектам в отраженных волнах, основанную на переработке и спецобработке сейсмических профилей по технологичным обрабатывающим и сервисным программам «Энергосейс», «АИК», «SAM».

Рассмотрим более подробно одну из основных методик, применявшейся в данной работе. Было осуществлено районирование нефтегазоперспек-