

Для служебного пользования
ицб №300 экз. № 1221

МЕТОДИКА
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА
ПО ДАННЫМ МОРСКИХ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Ленинград 1987

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ
УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН (НА ПРИМЕРЕ АЗОВСКОГО МОРЯ)

В последнее время несколько снизился интерес производственных организаций, выполняющих сейсморазведочные работы, к методу преломленных волн. В основном, это связано не с самими возможностями метода преломленных волн (МПВ), а с тем, что вся интерпретация проводится традиционными способами в рамках упрощенной однородно-слоистой модели среды и получаемые результаты часто не согласуются с данными бурения. И хотя в последнее время арсенал методов кинематической интерпретации МПВ возрос и класс интерпретационных моделей существенно расширился [12], эти способы, к сожалению, весьма редко используются на практике. Сам же метод преломленных волн применяется лишь для решения региональных задач или для изучения самой верхней части разреза по волнам первых вступлений, попутно получаемым при исследованиях ОГТ. Между тем, как следует ниже, его с успехом можно использовать и для традиционного в сейсморазведке интервала глубин для решения задач прогнозирования геологического разреза (ПГР).

В свое время в сейсморазведке был очень высок интерес к изучению динамических характеристик сейсмических волн [?], но несовершенство сейсмической аппаратуры с весьма ограниченным динамическим диапазоном сводило к минимуму многочисленные усилия интерпретаторов, поэтому об использовании динамики волн стали забывать. И лишь в связи с широким внедрением в практику сейсмических исследований цифровой аппаратуры и метода ОГТ в этом направлении были достигнуты существенные успехи, особенно при решении задач ПГР, о чем свидетельствуют хотя бы статьи настоящего сборника. А в методе преломленных волн этого не произошло, поскольку до недавнего времени не был разработан математический аппарат для такой интерпретации, а известные методы [?] были справедливы для весьма простых моделей сред. Мы попытались в какой-то степени восполнить этот пробел, предложив ряд способов определения поглощающих характеристик для достаточно общих моделей сред, в которых скорость сейсмических волн и поглощающие харак-

теристики могут быть функциями двух координат. Мы не будем здесь их подробно излагать, а отсылаем читателя к нашим работам [2, 3, 4], где они описаны, и к работам [5, 6], где показаны примеры их практического использования.

За основу возьмем способ, предложенный нами в [4], и дополним его некоторыми усовершенствованиями, которые касаются возможностей определения ряда поглощающих характеристик при нелинейной зависимости коэффициента поглощения от частоты.

Дело в том, что практически во всех известных способах определения поглощения, в том числе и в [4], предполагается линейная зависимость коэффициента поглощения \mathcal{L} от частоты ω :

$$\mathcal{L} = \beta \omega, \quad (1)$$

где β - коэффициент пропорциональности (константа поглощения).

Существующие экспериментальные данные о поглощении [1, 7, 10] не слишком многочисленны и зачастую противоречивы. Зависимость определяется, как правило, с большими ошибками и ее линейная аппроксимация является наиболее простой в такой ситуации. Поэтому зависимость (1) нельзя считать очевидной. Более того, в рамках некоторых моделей линейно-неупругих сред [9], а также в многофазных средах [II] при определенных условиях теоретически получаются заведомо нелинейные зависимости коэффициента поглощения от частоты. Например, во влагонасыщенных средах эта зависимость близка к квадратичной. В более общем случае принято считать, что зависимость коэффициента поглощения от частоты может быть описана степенной функцией вида:

$$\mathcal{L} = \beta \omega^\gamma, \quad (2)$$

где γ - показатель степени, который в зависимости от типа горных пород принимает значения от 0 до 2.

Возросшие возможности современной сейсмической аппаратуры позволяют поставить вопрос об экспериментальном определении величины γ , которая может стать новой важной физической характеристикой среды, поскольку косвенно связана с механизмом поглощения.

Согласно способу [4] в точке среды с координатами (x, z) может быть найдена разность коэффициентов поглощения на фиксированной частоте ω_k (частота нормировки спектра) и любой произвольной частоте ω_1 внутри интервала частот спектра:

$$\Delta \alpha(\omega_i, x, z) = \alpha(\omega_i, x, z) - \alpha(\omega_k, x, z) \quad (3)$$

Эта разность, являющаяся в фиксированной точке среды функцией частоты, может быть представлена в виде:

$$\Delta \alpha_i = \beta(\omega_i^\gamma - \omega_k^\gamma), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

где n - число частот спектра. Обычно полагали $\gamma=1$, по наклону осредняющей прямой находили β и, считая, что $\alpha(0)=0$, переходили к абсолютным значениям. Положим, в общем случае $\gamma \neq 1$. Тогда величины β и γ могут быть найдены путем отыскания минимума функции:

$$f(\beta, \gamma) = \sum_{i=1}^n [\Delta \alpha_i - \beta(\omega_i^\gamma - \omega_k^\gamma)]^2. \quad (5)$$

Функция (5) является функцией двух переменных и ее минимум может быть найден известными численными методами, например методом наискорейшего спуска. Однако это не слишком благоприятный путь, так как требует больших затрат машинного времени и к тому же может гарантировать лишь нахождение локального минимума, если такой вообще существует. Ситуацию можно упростить следующим образом. Из необходимого условия минимума (5) (равенства нулю частных производных) можно получить соотношение, связывающее β и γ , а именно:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta \alpha_i (\omega_i^\gamma - \omega_k^\gamma)}{\sum_{i=1}^n (\omega_i^\gamma - \omega_k^\gamma)^2}. \quad (6)$$

Таким образом, остается отыскать минимум функции (6) лишь по одной переменной γ . В данном случае это не представляет затруднений и может быть сделано простым перебором значений с достаточно мелким шагом в интервале от 0 до 2,5 или методом итераций, сходимость которого в данном случае требует однако специального исследования.

Дополнив методику [4] вышеописанным алгоритмом нахождения γ , получим численный способ определения поглощающих характеристик α , β , γ в латерально неоднородной среде.

Проведенные нами исследования на тестовых моделях показали, что если способ [4] применять для сред с заведомо нелинейной зависимостью коэффициента поглощения от частоты, то абсолютные

значения рассчитанных коэффициентов поглощения будут отличаться от истинных на соответствующих частотах, а именно: там, где $\gamma > I$ они будут выше, а где $\gamma < I$ ниже заданных в тестовой модели. Однако качественно характер распределения поглощения в среде восстанавливается правильно.

Составленная нами программа РОГЛ-02 на основании способа [4] и предложенного выше алгоритма нахождения показателя γ реализует одновременно оба варианта расчета поглощающих характеристик: в предположении о линейной зависимости $\alpha(W)$ и степенной зависимости $\alpha(W)$.

На величину поглощения оказывают влияние и литологический состав и термобарические условия на соответствующей глубине, структурные и текстурные свойства пород, их пористость, трещиноватость, степень заполнения пор флюидами, тип флюида и другие факторы, разделить которые практически невозможно. Однако с практической точки зрения очень часто бывает весьма желательным выделить основную причину изменения поглощающих свойств среды. Чем обусловлено изменение поглощения: сменой литологии или изменением условий залегания тех же пород (давления, пористости и т.п.)? И хотя тут еще много неясного, мы можем наметить возможный путь решения этого вопроса.

Как известно [7, 8], в монолитных кристаллических породах коэффициент поглощения очень мал и увеличивается с ростом частоты по линейному закону (I), а декремент поглощения от частоты не зависит. В насыщенных пористых средах [II] преобладает другой механизм поглощения и на сейсмических частотах коэффициент поглощения имеет квадратичную зависимость от частоты. При малой пористости могут иметь место промежуточные зависимости ($\gamma = I, 0 + 2,0$). Из вышесказанного можно предположить следующее. Если на близких глубинах (в одинаковых термобарических условиях) увеличение коэффициента поглощения на фиксированной частоте не сопровождается увеличением показателя степени γ , то это изменение связано скорее всего с изменением состава пород. Если в тех же условиях наблюдается увеличение α на фиксированной частоте одновременно с ростом γ до величин, близких к 2, это связано, по-видимому, с изменением пористости, трещиноватости и повышенiem флюидонасыщенности пород того же состава.

Конечно, высказанные выше предположения имеют предварительный гипотетический характер и требуют дополнительного теорети-

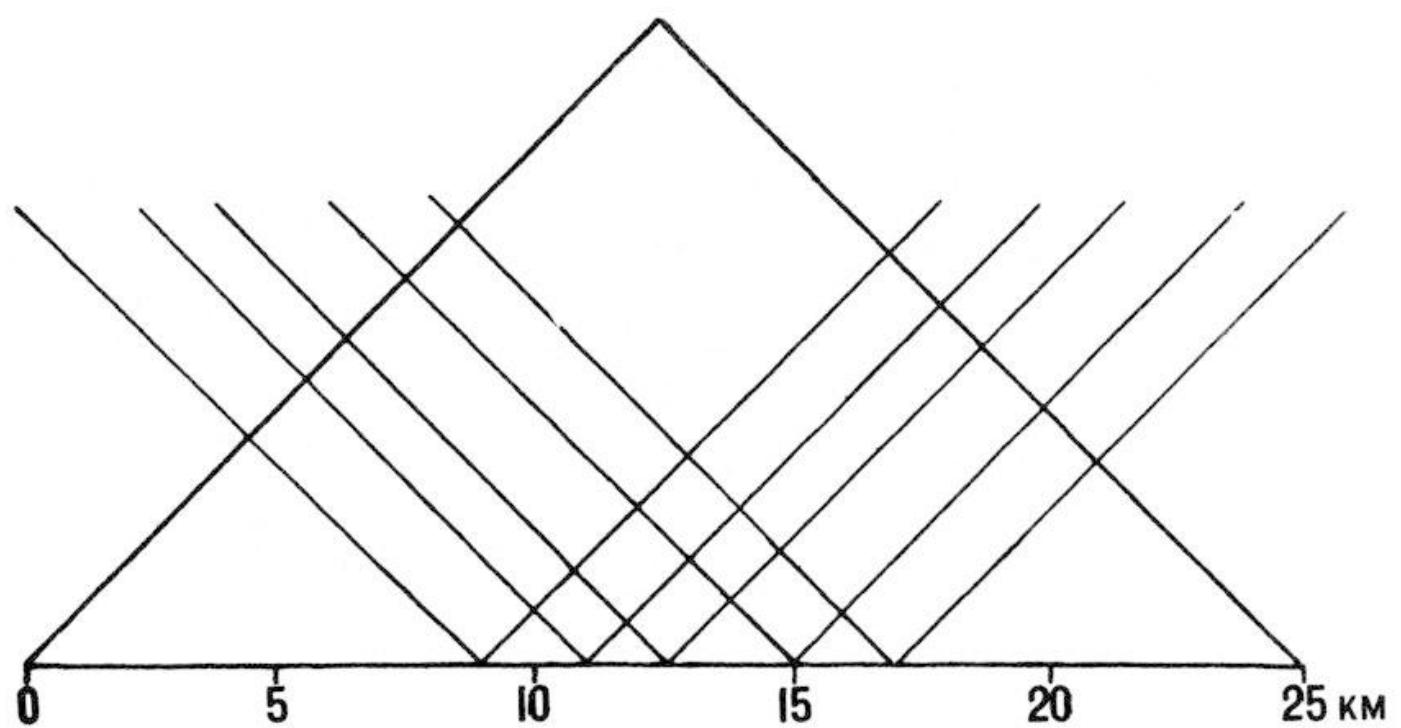


Рис.1. Система наблюдений на участке профиля МПВ
в Азовском море.

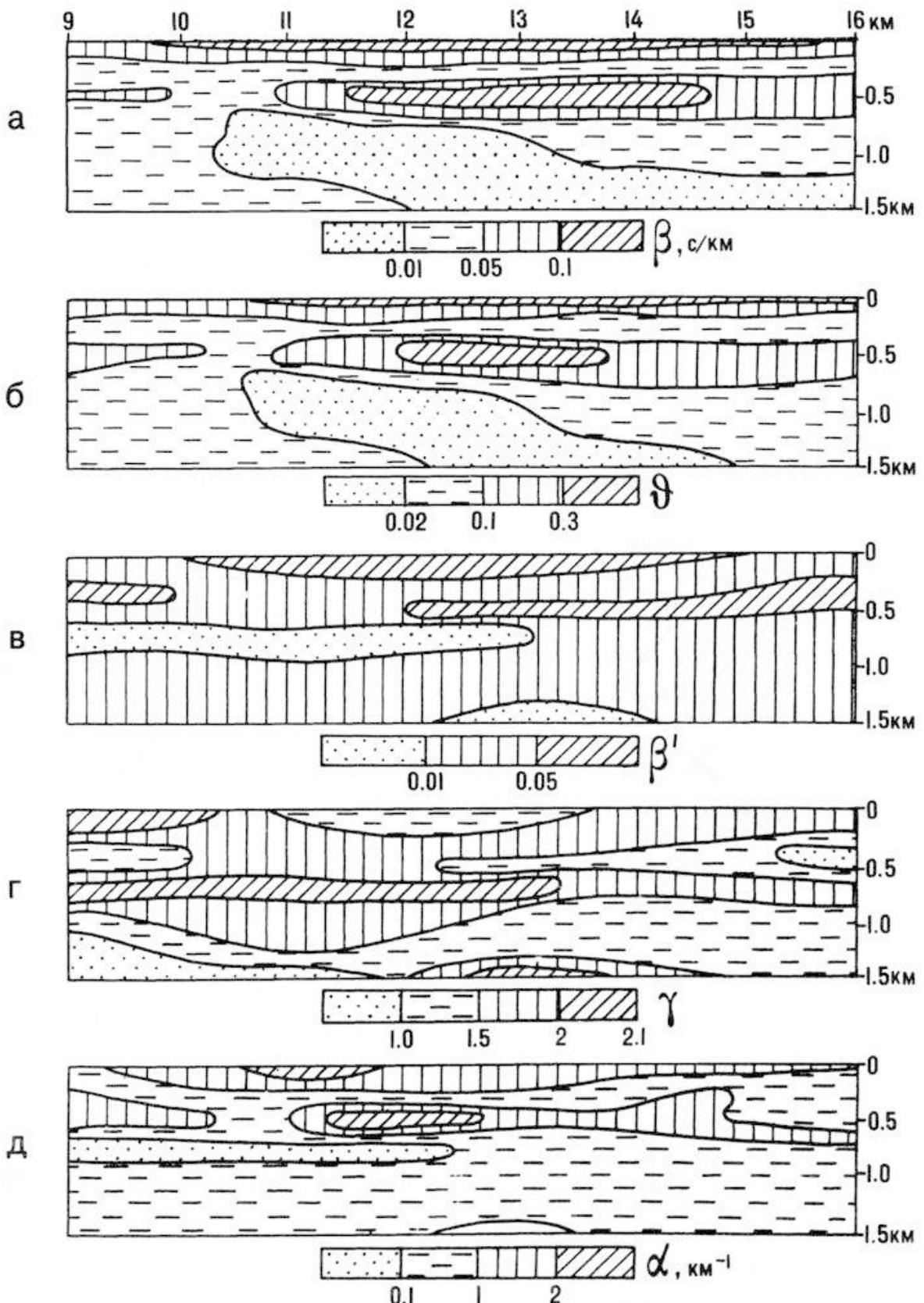


Рис.2 Поглощающие характеристики на участке профиля в Азовском море при линейной аппроксимации зависимости коэффициента поглощения от частоты:

а-константа поглощения; б-декремент поглощения; в-при степенной аппроксимации данной зависимости; г-коэффициент поглощения на частоте 12Гц.

ческого обоснования и дальнейшего экспериментального изучения.

Рассмотрим результаты применения данной методики на участке профиля КМПВ в Азовском море в районе площади "Октябрьская".

Ранее здесь по результатам ряда геофизических методов, и прежде всего ОГТ, отмечались аномалии, которые связывались, предположительно, с газовой залежью. Традиционная кинематическая интерпретация данных КМПВ практически ничего не давала. Визуально наблюдалось некоторое локальное искривление гидографов. Что же дает использование динамики записи?

Отметим, что на данном участке профиля реализована очень плотная система наблюдений МПВ (рис. I), поэтому нам удалось достаточно детально расчленить разрез по поглощающим характеристикам. На рисунке 2 представлены результаты расчетов поглощающих характеристик по предполагаемой методике, причем первые два разреза в изолиниях константы поглощения (а) и декремента поглощения (б) получены в предположении о линейной зависимости коэффициента поглощения от частоты. На них достаточно отчетливо выделяется область повышенного поглощения на глубине около 500 м между пикетами II и I4, связанная с газовой залежью. Наличие залежи с промышленными запасами газа подтверждено бурением.

По другим параметрам (константе поглощения, показателю степени, рисунки 2 в, г) залежь практически не видна, однако по коэффициенту поглощения на частоте 12 Гц (рис. 2д) она отмечается достаточно надежно.

Тот факт, что залежь гораздо лучше выделяется по поглощающим характеристикам в предположении о зависимости $\alpha(\omega)$ типа (I), связан, по-видимому, с тем, что в залежи присутствуют, в основном, углеводороды легких фракций и практически отсутствуют жидкие флюиды. Более общий подход к определению поглощения в предположении о зависимости $\alpha(\omega)$ типа (2), дает для области залежи значения показателя степени γ значительно меньше, чем 2, что также подтверждает высказанное предположение о "сухом" газе. В то же время непосредственно ниже аномалии при общем уменьшении поглощения показатель степени возрастает до 2, что связано, по всей вероятности, с насыщением пор водой.

В заключение отметим, что ошибки в определении поглощающих характеристик все же высоки и составляют 20-30% при большом поглощении в районе залежи, а при малом поглощении абсолютная ошибка становится сравнимой с величиной коэффициента поглощения на

преобладающей частоте. Оценка абсолютных ошибок аппроксимации зависимости $\alpha(\omega)$ степенным законом производится в рамках программы РОГЛ 02.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Предлагаемая методика позволяет впервые подойти к решению задач ПГР по данным МПВ. При этом получают дополнительную независимую информацию о среде в результате своеобразного "просвечивания" локальных объектов проходящими волнами, что в ряде случаев более предпочтительно, так как преломленные волны в меньшей степени подвержены влиянию интерференции нежели отраженные.

2. Показатель χ степенной зависимости коэффициента поглощения от частоты является важной физической характеристикой и в совокупности с другими величинами позволяет составить более обоснованные представления о среде.

3. При достаточно плотных системах наблюдений МПВ, хорошем качестве материала в отношении динамики волн и благоприятных сейсмогеологических условиях возможно прогнозирование залежей углеводородов по комплексу поглощающих характеристик.

Литература

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке. М.: Недра, 1982. 232 с.
2. Ампилов Ю.П., Облогина Т.И. Метод определения поглощения по рефрагированным волнам. - Изв.АН СССР. Физика Земли. 1982. № 10. С.31-41.
3. Ампилов Ю.П. Методы определения поглощающих свойств неоднородных сред. - Изд. Кольского филиала АН СССР, 1983, 110 с.
4. Ампилов Ю.П., Облогина Т.И. Определение поглощающих характеристик неоднородных сред по спектрам рефрагированных волн. - Вестник МГУ. Сер. геология, 1984, № 6. С.57-66.
5. Ампилов Ю.П. Расчет поглощающих характеристик земной коры Балтийского щита. /Изучение глубинного строения восточной части Балтийского щита и прилегающих акваторий сейсмическими методами. - Изд. Кольского филиала АН СССР. 1986. С.62-68.
6. Ампилов Ю.П. и др. Геолого-геофизическая модель верхней части земной коры Кольского полуострова по профилю Печенгская губа - Ковдор - Алакуртти./ Геофизический журнал. 1985. № 2. С.72-85.

7. Берзон И.С., Епинатьева А.М., Парижская Г.И. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. М.: Наука, 1962. 512 с.
8. Васильев Ю.И. Две сводки констант затухания упругих волн в горных породах. - Изв. АН СССР. Сер. Геофиз., 1962, № 5. С. 595-602.
9. Коган С.Я. Краткий обзор теорий поглощения сейсмических волн. - Изв. АН СССР. Физика Земли. 1966. № II. С.1-28.
10. Коц В.Г., Гаврилова Г.Г., Гусарова Л.В. Опыт анализа динамических особенностей сейсмических волн для изучения литофизической характеристики пород осадочного чехла в условиях акваторий./ Прогнозирование геологического разреза по геофизическим данным. Л., ВНИГРИ. 1982. С.36-49.
11. Ляховицкий Ф.М., Одасин Л.А. Теоретические исследования влияния типа порозаполнителя и пластовых условий на скорость и поглощение упругих волн в песчаниках. - Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 4. С.43-57.
12. Обратные кинематические задачи взрывной сейсмогеологии. Под ред. С.М.Зверева. М.: Наука, 1979. 292 с.

УДК 550.831:553.98(26)