

1. При аппаратурной реализации поканального ЦАРА в случае хорошего качества регулирования можно ограничиться 8-разрядным (кроме знака) представлением числа. Для общего ЦАРА разрядности необходимо увеличить до 12. Дальнейшее уменьшение разрядности чисел ведет к резкому ухудшению работы ЦАРА.

2. Замена дополнительных кодов обратными при вычитании не вносит существенных изменений в работу ЦАРА, если выбрано оптимальное число разрядов (8 или 12) для представления чисел, но позволяет существенно упростить аппаратуру.

УДК 550.834

А. М. ЕИЩАТЬЕВА, О. Г. ПОПОВА

КРИТЕРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДЫ ВОЛН В ДАЛЬШЕЙ ЗОНЕ

Точность и достоверность интерпретации данных сейсмических методов преломленных волн (КМПВ и ГСЗ) в большой степени зависит от правильного определения природы волн, регистрируемых в начальной части сейсмограмм, — головных, рефрагированных или отраженных. Волны головные и рефрагированные образуют действительные первые вступления, отраженные волны могут образовывать только «видимые» первые вступления при относительно малой интенсивности первых головных или рефрагированных волн.

В результате экспериментальных исследований [7, 9, 14], теоретических расчетов для поверхности Земли и внутренних точек среды [12, 14] и моделирования [16] показана большая роль отраженных волн в формировании начальной части сейсмограмм вдали от источника. Интерференция первых волн (головных или рефрагированных) с интенсивными отраженными волнами приводит к искажению кинематических и динамических особенностей первых волн как на горизонтальных, так и на вертикальных профилях. В итоге природа волн определяется неоднозначно. Можно думать, что вследствие неучета интерференционных явлений возникают многие трудности определения природы волн и интерпретации данных КМПВ и ГСЗ.

В настоящее время разработана методика наблюдений и интерпретации, которая позволяет однозначно определять природу волн в КМПВ. Эта методика основана на комплексном исследовании скоростного строения среды и волн.

В данной статье на основании результатов работ [4, 5, 7, 10, 12, 14, 16] сформулированы критерии для определения природы волн, регистрируемых на поверхности земли и во внутренних точках среды вдали от источника. Критерии приведены для головных, рефрагированных, отраженных, интерференционных головных и интерференционных рефрагированных волн.

КРИТЕРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДЫ ВОЛН

Имеющиеся данные [5, 14] позволяют считать, что для однозначного определения природы волн на расстояниях, используемых в КМПВ, необходимо проведение комплекса работ: КМПВ с детальной системой наблюдений, акустический каротаж (АК), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) при разноудаленных источниках и теоретические расчеты для поверхности Земли и внутренних точек среды. Комплексные исследования позволяют получить набор критериев для установления природы волн.

Головные волны от границы полупространства или толстого слоя

1. В определенных диапазонах расстояний (КМПВ) и глубин (ВСП) волна может регистрироваться первой [4, 6, 7, 10].
2. Нет систематического изменения кажущейся скорости распространения волн v_k с расстоянием (КМПВ) [10].
3. Амплитуда волны (КМПВ) плавно уменьшается с расстоянием X [7, 10].
4. Амплитуда волны (КМПВ, ВСП) при всех расстояниях меньше, чем у волны, отраженной от той же границы [4, 7].
5. Амплитуда преломленной волны при больших расстояниях от источника меньше, чем у волны, отраженной от подошвы преломляющего слоя, с которым связана головная волна (КМПВ и ВСП) [5, 12, 13, 14, 16].
6. Нагоняющие горизонтальные и вертикальные годографы параллельны [4, 10].
7. Минимум вертикальных годографов при разных расстояниях от источника располагается на одной глубине и приурочен к скоростной границе ($v_2 > v_1$) (ВСП). Выше преломляющей границы кажущаяся скорость по вертикальному годографу отрицательная.
8. Форма вертикальных годографов относительно точки минимума асимметрична [4].
9. Наблюденные годографы и графики $A(X)$ и $A(H)$ сходны с расчетными для головных волн; параметры расчетных моделей выбираются по результатам измерений в скважинах [5, 14].
10. Граничная скорость, рассчитанная по наземным или вертикальным годографам, совпадает со скоростью распространения волн в преломляющем слое, а в случае неоднородного слоя — со скоростью в горизонтальном направлении [5, 15].

Рефрагированные волны

1. В определенных интервалах расстояний (КМПВ) и глубин (ВСП) волна может регистрироваться первой [4, 6].
2. Форма горизонтальных и вертикальных годографов криволинейная [4, 6].

3. Нагоняющие годографы непараллельны [4, 6, 7].

4. Для горизонтальных профилей: а) увеличение v_k с расстоянием X ; б) уменьшение Δt нагоняющих годографов с расстоянием; в) сравнительно большая интенсивность [1, 6].

5. Для вертикальных профилей: а) наличие минимума вертикального годографа; б) симметричность годографов относительно точки минимума; в) постепенное смещение минимума годографа на большую глубину с увеличением расстояния от источника до скважины; г) увеличение Δt по нагоняющим годографам с глубиной H при $H < H_{\min}$; д) изменение направления вступления на обратное при переходе через точку минимума годографа [4].

6. Экспериментальные данные совпадают с расчетными для моделей среды, параметры которой определены путем измерений в скважинах.

Волны, отраженные от подошвы или внутренних границ преломляющего слоя

1. Амплитуды отраженной волны при больших удалениях от источника больше амплитуд головной волны от кровли преломляющего слоя (КМПВ, ВСП) и проходящей волны в слое (ВСП) [5, 12, 14, 16].

2. На горизонтальном профиле [5, 6, 7, 14]: а) гиперболическая форма годографов; б) уменьшение v_k с расстоянием при $X \rightarrow \infty$, $v_{k, \text{отр}} \rightarrow v_{k, \text{гол}}$; в) приближение к годографу головной волны с увеличением X и слияние с последним при $X \rightarrow \infty$; г) непараллельность нагоняющих годографов, увеличение Δt с расстоянием X .

3. На вертикальном профиле [4, 5, 12, 14, 16]: а) увеличение v_k с удалением от источника; б) приближение к годографу головной волны и слияние с ним при $X \rightarrow \infty$; в) пересечение годографов проходящей и отраженной волн (или их продолжений) на глубине H , совпадающей с границей, с которой связано образование отраженной волны; г) увеличение Δt с глубиной (по нагоняющим годографам).

4. Отраженные волны регистрируются в последующей части записи; с увеличением расстояния X подходят из последующей части записи к первым вступлениям [5, 7, 8, 9]; могут образовывать «видимые» первые вступления в силу большей их интенсивности по сравнению с интенсивностью первых головных или рефрагированных волн [2].

5. Наблюдаемые годографы и графики $A(X)$ сходны с расчетными для отраженных волн; параметры расчетных моделей выбираются по результатам измерений в скважинах [5, 14].

Интерференционные головные волны от мощных слоев

1. В определенном интервале расстояний (КМПВ) и глубин (ВСП) волна может регистрироваться первой [5, 12, 14, 16].

2. Годографы первых волн совпадают с годографами головных волн [5, 14].

3. В последующей части записи регистрируются интенсивные однократно- и многократно-отраженные волны от подошвы или внутренних границ толстого слоя; с увеличением расстояния волны подходят из последующей части записи к первым вступлениям и сливаются с последними при $X \rightarrow \infty$ [5, 12, 14, 16].

4. Графики $A(X)$ имеют сложную форму; характерно наличие локальных максимумов, обусловленных влиянием отраженных волн (в зоне синфазного сложения отраженной и головной волн) [14, 16].

5. Минимум вертикальных годографов при увеличении расстояния X может смещаться с поверхности преломляющего слоя к границе внутри слоя или его подошве [5, 12, 13].

6. Величина граничной скорости совпадает со скоростью распространения волн в преломляющем слое, для квазианизотропных сред — со скоростью их в горизонтальном направлении [15].

7. Вдали от источника, вследствие влияния отраженных волн, интенсивность может быть выше, чем у головных волн от границы полупространства, и спад ее с расстоянием медленнее [5, 12, 16].

8. При больших удалениях от источника (за счет влияния отраженных волн) возможно изменение формы и увеличение частоты записи как на вертикальных, так и на горизонтальных профилях.

9. При больших расстояниях от источника может отмечаться параллельность нагоняющих годографов на горизонтальном профиле и углубление минимума годографа первых волн на вертикальных профилях [13, 14].

10. Характер фазовых годографов на вертикальных профилях при регистрации в разных частотных диапазонах различен [12, 13].

11. Экспериментальные данные совпадают с расчетными для моделей, составленных по результатам измерений в скважинах [5, 14].

Интерференционные рефрагированные волны

1. В определенном интервале расстояний и глубин волна может регистрироваться первой [8, 16].

2. Годографы первых волн совпадают с расчетными годографами рефрагированных волн [16].

3. В последующей части записи отмечаются интенсивные волны, отраженные от тонких неоднородностей разреза; с увеличением расстояния отраженные волны из последующей части записи подходят к волнам в первых вступлениях [8, 9].

4. Характер графиков $A(X)$ сложный. Имеются локальные максимумы, обусловленные влиянием отраженных волн (в зоне синфазного сложения рефрагированной и отраженной волн) [8].

5. Минимум вертикальных годографов смещается при увеличении расстояния на большую глубину, величина смещения в общем случае не соответствует закону увеличения скорости с глубиной [16].

6. Форма записи при больших удалениях от источника как на горизонтальном, так и вертикальном профилях может изменяться.

7. Фазовые годографы на вертикальных профилях при регистрации на разных частотах имеют различный характер.

Из перечисленных выше критериев неоднозначными являются следующие.

1. Критерий формы годографов и кажущейся скорости.

На больших расстояниях от источника паземные годографы всех волн практически прямолинейны и изменение кажущейся скорости с расстоянием может быть незаметным.

2. Критерий амплитуд для разделения головной и рефрагированной волн.

Интерференционные головные волны могут иметь амплитуды такого же порядка, как рефрагированные волны.

3. Критерий углубления минимума вертикального годографа.

Углубление минимума годографа при удалении источника от вертикального профиля характерно для рефрагированных и интерференционных рефрагированных волн. Похожий эффект имеет место для интерференционных головных волн.

Использование для определения природы волн только этих критериев может привести к ошибочной трактовке волновой картины.

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДЫ ВОЛН

Однозначное определение природы волн

Примеры однозначного определения природы волн приведены в работах [5, 8, 14]. В комплексе проведенных исследований входили: наблюдения во внутренних точках среды на ультразвуковых частотах (АК), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) с разноудаленными пунктами взрыва, наблюдения на наземных профилях по методике КМПВ с детальной системой наблюдений и теоретические расчеты для поверхности Земли и внутренних точек среды. Вопросы о природе волн и строении среды решались на основании комплексного анализа всех полученных данных.

В работах [5, 14] рассматриваются результаты определения природы волн от толстых слоев с повышенной скоростью распространения в районах Припятского прогиба. Установлено, что волны, регистрируемые первыми на горизонтальных профилях, на одних участках являются головными от поверхности толстого слоя однородной соли, на других — от слоя с повышенной скоростью внутри соленосной толщи. При больших удалениях от источника головные волны осложнены интерференцией с волнами,

отраженными от подошвы преломляющего слоя или его внутренних границ, в результате чего становятся интерференционными головными. Форма записи и некоторые динамические особенности интерференционных головных волн в основном определяются особенностями отраженных волн как более интенсивных вдали от источника.

В работе [8] определена природа волны, регистрируемой в первых вступлениях в районе Краснодарского края. Изученная среда отличается слабым возрастанием скорости распространения волн с глубиной ($\beta \approx 0,1 \text{ км}^{-1}$). На этом фоне отмечается большое число тонких слоев и тонкослоистых пачек. В результате исследований установлено, что волны, отраженные от мелких неоднородностей разреза, в удаленных от источника зонах подходят к первой рефрагированной волне, интерферируют с ней и в силу своей большей интенсивности образуют видимые первые вступления.

Влиянием отраженных волн объяснены локальные максимумы на графиках $A(X)$.

В обоих приведенных примерах результаты определения природы волн согласуются с данными определения скоростей в скважинах.

Неоднозначное определение природы волн

В большом числе работ определение природы волн вдали от источника выполнено с использованием отдельных критериев, результаты части этих работ вызывают сомнения или неверны.

Так, в работе [1] на основании теоретических расчетов амплитуд в лучевом приближении сделан вывод о большей вероятности регистрации в реальных средах рефрагированных волн, чем головных, так как первые значительно интенсивнее. Это положение некоторые исследователи [11] используют как аргумент в пользу рефрагированных волн. Здесь имеют место неточность формулировки и неправильное использование результатов работы [1]. Расчетным путем для разных моделей действительно получено, что рефрагированные волны более интенсивны, чем головные. Однако этот факт при определении природы волны нельзя использовать в отрыве от имеющихся данных о строении среды, так как образование каждого из классов волн возможно в средах с определенным распределением скорости. В одних средах могут быть головные волны, в других — рефрагированные, а говорить о «динамической вероятности регистрации» тех или иных волн в отрыве от среды не имеет смысла.

В экспериментальных работах по ВСП [3, 11] волны отнесены к рефрагированным. В работе [3] волна определена рефрагированной по форме годографов и по смещению с расстоянием минимума вертикального годографа. Но это противоречит данным исследований наземных [8] (полученным в близком по строению соседнем районе), при которых в области первых вступлений зарегистрирована серия смежающих друг друга отраженных

волн от множества тонких слоев, распределенных по всему разрезу на общем фоне слабого увеличения скорости распространения волн с глубиной. Пример [3] позволяет говорить об интерференции рефрагированной волны с отраженными волнами, которые более интенсивны и определяют динамические особенности первой волны.

В работе [11] волна в последующих вступлениях на вертикальном профиле с удаленным источником определена рефрагированной на основании ее большой интенсивности. Этому противоречит отсутствие в разрезе достаточно мощного слоя с градиентом скорости (по данным АК). В работе [2] сделано заключение о регистрации головной волны от тонкого слоя по данным ВСП; при этом отмечено, что граничная скорость, определенная по результатам наблюдений во внутренних точках среды, уменьшается с расстоянием. Этот вывод не согласуется с данными наземных исследований в этом районе, при которых уменьшения граничной скорости с расстоянием не отмечено. Возможно, что при интерпретации данных ВСП (без увязки их с наземными данными) были допущены ошибки при отождествлении волн или их фаз на вертикальных профилях при разных удалениях от источника, в результате чего величина v_r получилась ошибочной.

Из приведенных примеров следует, что отсутствие комплекса данных при определении природы волн в удаленных зонах может приводить к ошибочным результатам.

В заключение можно сказать следующее. Использование сформулированных критериев позволит повысить надежность интерпретации данных КМПВ и ВСП при решении задач физического характера — выборе модели среды и определении природы волн. Можно надеяться, что вопрос о природе волн в КМПВ в ближайшем будущем перестанет быть дискуссионным. Главный путь для этого — обеспечение всестороннего изучения среды и волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. С. О кинематических и динамических свойствах основных глубинных волн в случае некоторых теоретических моделей земной коры. — В кн.: Глубинное сейсмическое зондирование. М., Гостоптехиздат, 1962, с. 320—333 с ил.
2. Гальперин Е. И. Об интенсивности головных и запредельно-отраженных волн. — «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», 1966, № 10, с. 9—24 с ил.
3. Гальперин Е. И. О значении некоторых типов волн в формировании сейсмограммы. — «Разведочная геофизика», вып. 22. М., «Недра», 1967, с. 3—26 с ил.
4. Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М., «Недра», 1971. 263 с с ил.
5. Головные волны от толстых слоев по данным полевых экспериментов. — «Геофизический сборник АН УССР», вып. 52. Киев, «Наукова думка», 1973, с. 11—23 с ил. Авт.: А. М. Епинатьева, М. В. Невский, О. Г. Попова, Н. Ф. Юхнин.
6. Гурвич И. И. Сейсмическая разведка. М., «Недра», 1970. 552 с с ил.

7. Епипатьева А. М. Физические основы сейсмических методов разведки. М., Изд-во МГУ, 1970. 104 с. с ил.

8. Епипатьева А. М., Куценко Э. Я. Сейсмические волны в реальных средах с малым градиентом скорости. — «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1968, № 5, с. 20—36 с ил.

9. Епипатьева А. М., Попова О. Г. Сейсмические волны в осадочных средах с большим вертикальным градиентом скорости. — «Геофизический сборник АН УССР», вып. 43. Киев, «Наукова думка», 1971, с. 12—22 с ил.

10. Корреляционный метод преломленных волн. М., Изд-во АН СССР, 1959. 150 с. с ил. Авт.: Г. А. Гамбурцев, Ю. В. Резниченко, И. С. Берзон и др.

11. Погонийло Г. Г. Изучение волнового поля в скважине при удаленных пунктах взрывов. — В кн.: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, вып. IX. Л., «Наука», 1968, с. 213—243 с ил.

12. Попова О. Г. Влияние отраженных волн на кинематические и динамические особенности первых волн на вертикальном профиле — «Вестник МГУ», 1973, № 6, с. 104—108 с ил.

13. Попова О. Г. Интерпретация материалов вертикального сейсмического профилирования при удаленных источниках возбуждения колебаний. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. М., 1974. 26 с.

14. Развитие физических основ сейсмического метода преломленных волн на базе экспериментальных исследований в Припятском прогибе. Тезисы докладов Всесоюзной геофизической конференции, г. Львов, М., изд. ВИЭМС, с. 24—25. Авт.: А. М. Епипатьева, Е. И. Бажук, С. Г. Волосов и др.

15. Экспериментальное изучение анизотропии скоростей в осадочных толщах. — «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1972, № 4, с. 37—52 с ил. Авт.: А. М. Епипатьева, М. В. Невский, Н. Ф. Юхнин, Т. В. Александрова.

16. Юхнин Н. Ф., Павлов А. А. Преломление волны от слоев с постоянной и переменной скоростью (по данным моделирования). М., ВИНТИ, деп. № 4883—72, 1972, с. 1—11 с ил.

УДК 550.834 (26)

Л. И. КОГАН, Я. П. МАЛОВИЦКИЙ, Г. В. УДИНЦЕВ

ГЛУБИННОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН (ГСЗ—МОВ) ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ОКЕАНОВ

Изучение глубинного строения океанов и морей сейсмическими методами вступает в новую стадию. Методом ГСЗ выяснена принципиальная структура земной коры и физические свойства основных ее слоев. Однако требования к геологической информативности глубинных сейсмических методов существенно возросли, особенно при изучении областей с резко меняющимися на коротких расстояниях свойствами среды (зона предокеана, островные дуги и глубоководные желоба, срединно-океанические хребты), где необходимо непрерывное прослеживание изменения геометрии и физических свойств геологических границ.

Запрещение применения на море энергоемких бризантных ВВ и замена их различными «невзрывными» излучателями сравнительно малой энергии потребовало создания новых аппаратурно-методических приемов. В этих условиях одним из наиболее