

Г. В. Голикова, М. В. Чижова, А. В. Прокопьева

НЕКОТОРЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КВАЗИАНИЗОТРОПИИ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В последние десятилетия в сейсморазведке и, в частности, в ГСЗ является общепризнанным и доказанным многочисленными экспериментальными исследованиями факт существования в реальных геологических средах сейсмической анизотропии. Она проявляется в различии времени прихода волн SV и SH , в появлении аномальной поляризации поперечных волн, в особенностях годографов волн и явлений отражения — преломления. Причины анизотропии многообразны. Основные из них связаны со слоистостью осадочных отложений, упорядоченной трещиноватостью пород, ориентацией минералов и зерен. В каждом конкретном случае в реальной среде действует один или несколько из перечисленных факторов, формируя различные типы анизотропной среды.

Для прогнозирования и изучения сейсмических волновых полей большое значение имеет создание моделей анизотропных сред, адекватных геологическим объектам. Как правило, на основе трехкомпонентных наблюдений в скважине и на дневной поверхности удается определить скорости распространения тех или иных типов волн вдоль вертикального и горизонтального направлений и получить представление о степени (коэффициенте) анизотропии. Использование специальных направленных возбуждений (Y -воздействие) дает сведения об анизотропии скоростей волн SH .

Для простейшего типа анизотропии, трансверсально-изотропной среды, связь между напряжениями и деформациями описывается с помощью пяти независимых констант и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} p_{xx} &= Ae_{xx} + (A - 2N)e_{yy} + Fe_{zz}, \\ p_{yy} &= (A - 2N)e_{xx} + Ae_{yy} + Fe_{zz}, \\ p_{zz} &= Fe_{xx} + Fe_{yy} + Ce_{zz}, \\ p_{xy} &= Ne_{xy} \quad p_{yz} = Le_{yz} \quad p_{zx} = Le_{zx}, \end{aligned} \quad (1)$$

где A, N, C, F, L — упругие модули трансверсально-изотропной среды.

Решение проблемы количественного описания реальных анизотропных сред сводится к нахождению рассмотренных выше упругих модулей. Эту задачу для осадочных отложений удается решить в предположении, что основная причина возникновения анизотропии связана с тонкой слоистостью среды.

Разработаны математические методы осреднения тонкослоистых сред на основе предположения о периодичности их строения [1–3]. Установлено, что такая среда в целом ведет себя как анизотропная и представляет собой длинноволновый эквивалент тонкослоистой среды. В случае периодической k -компонентной среды, состоящей из изотропных слоев с параметрами i -го слоя $h_i; \lambda_i, \mu_i, \rho_i$ (h_i — мощность; λ_i, μ_i — константы Ламе; ρ_i — плотность), упругие константы эффективной среды определяются следующими формулами:

$$\begin{aligned} \bar{A} &= \left\langle \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu} \right\rangle + \left\langle \frac{1}{\lambda+2\mu} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda}{\lambda+2\mu} \right\rangle^2, \\ \bar{C} &= \left\langle \frac{1}{\lambda+2\mu} \right\rangle^{-1}, \quad \bar{N} = \langle \mu \rangle, \\ \bar{F} &= \left\langle \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \right\rangle \left\langle \frac{1}{\lambda+2\mu} \right\rangle^{-1}, \quad \bar{L} = \left\langle \frac{1}{\mu} \right\rangle^{-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Величины в скобках представляют собой средневзвешенные значения типа

$$\langle f \rangle = \sum_{i=1}^k \eta_i f_i, \quad \eta_i = h_i / \sum_{i=1}^k h_i.$$

В качестве плотности среды берется значение равное $\bar{\rho} = \langle \rho \rangle$.

Эквивалентность слоистой периодической среды и трансверсально-изотропной отмечается лишь при соблюдении определенных условий:

$$\lambda \gg 2\pi h \sqrt{n}, \quad (3)$$

где λ — длина волны, h — суммарная мощность слоев, составляющих период, n — число периодов.

Для того чтобы воспользоваться выражениями (2), необходимо определить компонентность среды (количество слоев в тонкой пачке), выбрать мощность пачки таким образом, чтобы удовлетворялось условие (3), задать наиболее вероятные параметры тонких слоев, входящих в пачку. Для определения компонентности среды и осредненных характеристик тонких слоев обычно выполняется статистическая обработка материалов акустического каротажа (АК) [4]. Несмотря на то, что представление реальных геологических разрезов периодической системой является идеализацией среды, существующая возможность определения упругих модулей на основе описанного подхода является наиболее приемлемой для полученного экспериментального материала.

Экспериментальные данные об особенностях распространения поперечных волн в карбонатных отложениях по наблюдениям в скважине

Использовались данные экспериментальных трехкомпонентных наблюдений, выполненных в глубокой скважине, пересекающей в нижней своей части карбонатные отложения верхнеюрской формации. В указанном интервале разреза разведочный интерес представляют высокоскоростные сильно дифференцированные по своим свойствам карбонаты надрифа и более низкоскоростные и менее дифференцированные отложения рифа.

При интерпретации волновых полей отраженных и преломленных волн, образованных от границ отложений надрифа и рифа, было отмечено существование осей синфазности обменных волн с малыми значениями кажущихся скоростей — от 2,0 до 1,0 км/с. Такие оси синфазности наблюдались на сейсмограммах, отвечающих пунктам взрыва, удаленным на 2, 4, 5, 12, 17 км от скважины. Заметим, что скорости продольных волн в изучаемых отложениях по материалам вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и АК характеризуются значениями от 4,0 до 7,0 км/с. Наблюдения, соответствующие отложениям надрифа (h составляет 2550–2595 м, рис. 1), свидетельствуют о существовании осей синфазности падающих, иногда восходящих волн, кажущиеся скорости которых по мере удаления от первых вступлений закономерно уменьшаются от 3,5 до 1,0 км/с. Для отложений рифа диапазон изменения кажущихся скоростей составляет 2,5–1,0 км/с.

Было выдвинуто предположение, что при наблюдениях ВСП из удаленных пунктов взрыва проявляется квазианизотропия изучаемых отложений. Для подтверждения этого предположения естественно было попытаться выявить на основе экспериментальных наблюдений зависимость скорости распространения поперечных волн

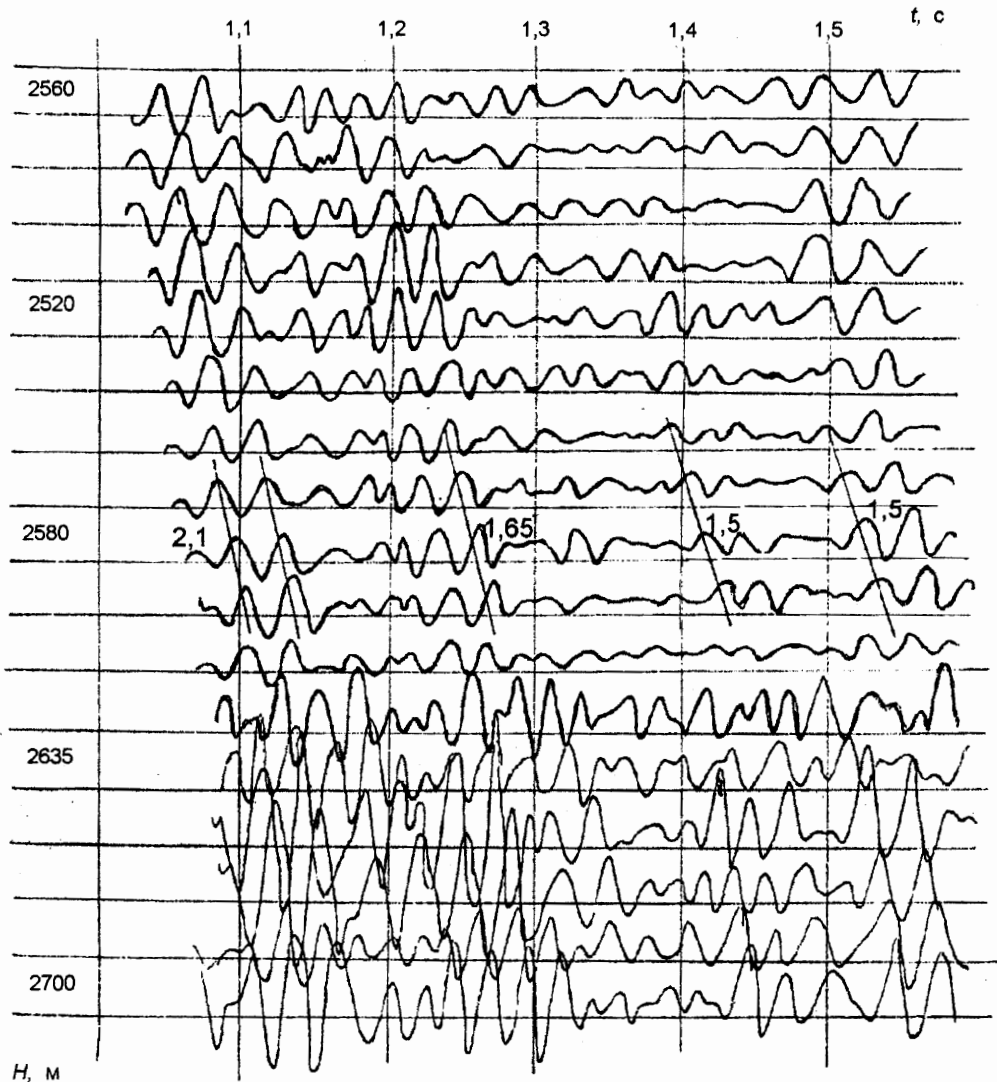


Рис. 1. Монтаж записи наклонного прибора ПВ-2.

от угла прохождения их через среду. С этой целью вдоль осей синфазности поперечных волн строились диаграммы поляризации и определялись углы подхода волн к точкам наблюдения. Характер диаграмм поляризации свидетельствовал о том, что анализируемое поле является сильно интерференционным и получаемые при обработке углы подхода определяются с большой погрешностью. В связи с этим четкой зависимости скорости распространения v_s от угла выявить не удалось. Однако достаточно надежным является диапазон углов, равный 10–35 град, который соответствует диапазону изменения кажущейся скорости от 3,5 до 1,0 км/с. Кроме того, для самых низких значений v_s , равных 1,0 км/с, отмечались достаточно часто углы подхода к точкам наблюдения 5–10 град. В целом, экспериментальные результаты не

противоречили сделанному предположению, но свидетельствовали о существенной анизотропии среды. По имеющимся литературным данным для осадочных отложений наблюдается более слабая анизотропия.

Отметим еще одно важное обстоятельство. Диаграммы поляризации изучаемого поля указывали, что обменные волны поляризованы в плоскости падения. Они образованы из прямой продольной волны, возбуждаемой взрывным источником, и являются "обычными" волнами SV . По наблюдениям из более близких пунктов взрыва, удаленных на 1 км от скважины, выделяются другие обменные волны, поляризация которых происходит в плоскостях, не совпадающих с плоскостью падения. Указанные обменные волны получили название аномальных [5]. Их существование, по-видимому, свидетельствует о проявлении азимутальной анизотропии.

Основной целью работ по интерпретации экспериментальных закономерностей распространения волн SV являлось доказательство возможности формирования в карбонатных верхнеюрских отложениях сильной анизотропии упругих параметров и изучение условий образования низких значений скорости распространения поперечных волн. За основу был принят рассмотренный выше подход эффективного описания тонкослойной среды периодической системой.

Влияние параметров слоистых пачек пород на характер анизотропии Анизотропные модели рифовых и надрифовых отложений

Для того чтобы построить анизотропные модели реальных геологических комплексов пород, необходимо было предварительно исследовать влияние параметров слоистых пачек на степень и характер анизотропии среды. С этой целью использовались некоторые отвлеченные теоретические модели двух- и трехкомпонентных пачек, в которых варьировались дифференциация среды по упругим параметрам тонких слоев и процентное содержание компонент в пачках. Схема исследований включала задание модели пачки, расчет усредненных параметров трансверсально-изотропной среды по формулам (2) и численное моделирование индикатрис фазовых и лучевых скоростей продольной и поперечных волн.

При первых расчетах поля по теоретическим моделям стало очевидно, что общий вид индикатрисы для волн SV имеет характер, близкий к наблюдаемой в эксперименте закономерности изменения скоростей в зависимости от угла прохождения волны через среду. При этом коэффициент анизотропии $K_{SV} = v_{\max}/v_{\min}$ существенным образом определяется степенью дифференциации упругих параметров в слоях пачки, и для того чтобы приблизиться к значению экспериментально наблюдаемого коэффициента, необходимо использовать в расчетах максимальную степень дифференциации параметров. Основной теоретической моделью являлась следующая: $h_1 = 2$ м, $v_{p1} = 6,5$ км/с, $v_{s1} = 4,0$ км/с, $\rho_1 = 2,8$ г/см³; $h_2 = 2$ м, $v_{p2} = 3,0$ км/с, $v_{s2} = 1,2$ км/с, $\rho_2 = 2,2$ г/см³, где индексы 1 и 2 при параметрах указывают на наличие двух компонент в рассматриваемой пачке слоев. Соответствующая индикатриса фазовых скоростей свидетельствовала о наличии в такой модели коэффициента K_{SV} , равного 1,67.

С целью выявления закономерностей изменения максимальных и минимальных значений скоростей в зависимости от процентного содержания высоко- или низкоскоростной компоненты в пачке были рассмотрены модели, в которых содержание низкоскоростной компоненты менялось от 12,5 до 87 %. Это достигалось изменением мощности низкоскоростной компоненты от 0,5 до 3,5 м при неизменной общей мощности пачки, равной 4 м. Скоростные параметры слоев пачки оставались неизменными.

венной
тложе-

чаемо-
я. Они
ком, и
унктов
т, поля-
адения.
вание,

ностей
ания в
метров
я попе-
го опи-

лпии

их ком-
метров
исполь-
ентных
метрам
ований
сально-
азовых

общий
эспе-
ждения
д суще-
етров в
наблю-
степень

следую-
0 км/с,
а нали-
атриса
а K_{SV} ,

альных
низко-
ожание
енени-
общей
ь неиз-

Максимальный коэффициент анизотропии 1,67 отмечается для 50 %-ного содержания компонент, уменьшаясь как в сторону снижения процентного содержания низкоскоростной компоненты до 1,4, так и в сторону увеличения ее содержания до 1,2. Поэтому для того чтобы понизить скорость распространения поперечных волн на вертикали, необходимо повысить содержание низкоскоростных прослоев, но при этом уменьшится коэффициент K_{SV} .

Самым примечательным свойством анизотропной модели является существенное понижение скорости SV и P волн на вертикали при небольшом процентном содержании низкоскоростной компоненты.

Предположим, что среда изотропна и скорости распространения в ней волн следующие: $v_p = 6,5$ км/с, а $v_s = 4,0$ км/с. Если в среду добавить всего 12,5 % низкоскоростных прослоев, то в полученной анизотропной среде скорость на вертикали понизится для P -волн до 5,2 км/с, а для S -волн до 2,5 км/с. Проследим, как меняется скорость продольной и поперечной волн в районе вертикали и в районе максимума индикатрис SV в зависимости от процентного содержания низкоскоростных разностей в пачке (рис. 2). Кривые изменения скоростей P и SV волн на вертикали расположены в интервале между значениями скоростей в тонких слоях, но тяготеют к нижней границе интервала. Минимальные и максимальные значения v_s в тонких слоях помечены тонкими штриховыми линиями, а для скорости P волн — тонкими сплошными.

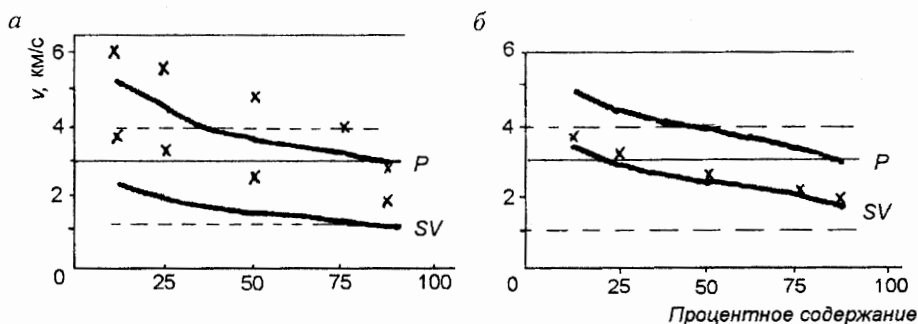


Рис. 2. Графики зависимости скоростей P и SV волн от содержания низкоскоростных разностей.

Крестик — средневзвешенное значение скорости.

Для угла падения волн на пачку, равного 35 град (рис. 2, б), кривые скорости занимают положение в средней части интервала между значениями скоростей в тонких слоях. Они тяготеют к максимальному значению при 12–25 %-ном содержании низкоскоростных прослоев в пачке и к минимальному при 75–87 %-ном содержании этих прослоев. При этом кривая скорости поперечной волны SV проходит в непосредственной близости к средневзвешенным значениям скоростей для рассмотренных моделей.

Далее попытаемся объяснить на качественном уровне, почему скорости распространения волн на вертикали тяготеют к минимальным скоростям, существующим в среде (рис. 2, а). Это прежде всего связано с тем, что на вертикали основной вклад в суммарное время пробега вносят низкоскоростные слои. Второй причиной, создающей дополнительное понижение скорости, является влияние кратных волн, возникающих в тонкослоистых пачках.

Рассмотрим анизотропные модели конкретных геологических объектов — надрифтовых и рифовых отложений площади исследования. Диаграммы акустического каротажа явились той основой, которая была использована при построении указанных моделей. Характерными особенностями скоростного строения изучаемых карбонатных отложений являются следующие:

1. Высокая степень дифференциации слоев по сейсмическим параметрам. Эта особенность характерна для отложений надрифа и обусловлена тем, что среди плотных карбонатных отложений появляются пористые, менее плотные и более низкоскоростные прослои. А в отложениях рифа, отмечаемых преимущественно пористыми разностями, присутствуют отдельные прослои плотных карбонатов.

2. Скоростные модели изучаемых отложений являются, как правило, трех- и более компонентными. Наряду с наличием прослоев с максимальными скоростями 6,5–7,0 км/с и минимальными 3,0–3,5 км/с подавляющее большинство прослоев имеет скорости $v_p=4,5-5,7$ км/с.

Качественное рассмотрение материалов акустических кривых по скважинам 1, 5, 7, 10 показало, что полученные результаты не могут быть объединены в одну совокупность данных. Особенности скоростного строения в различных частях площади таковы, что с ними могут быть сопоставлены отличающиеся друг от друга

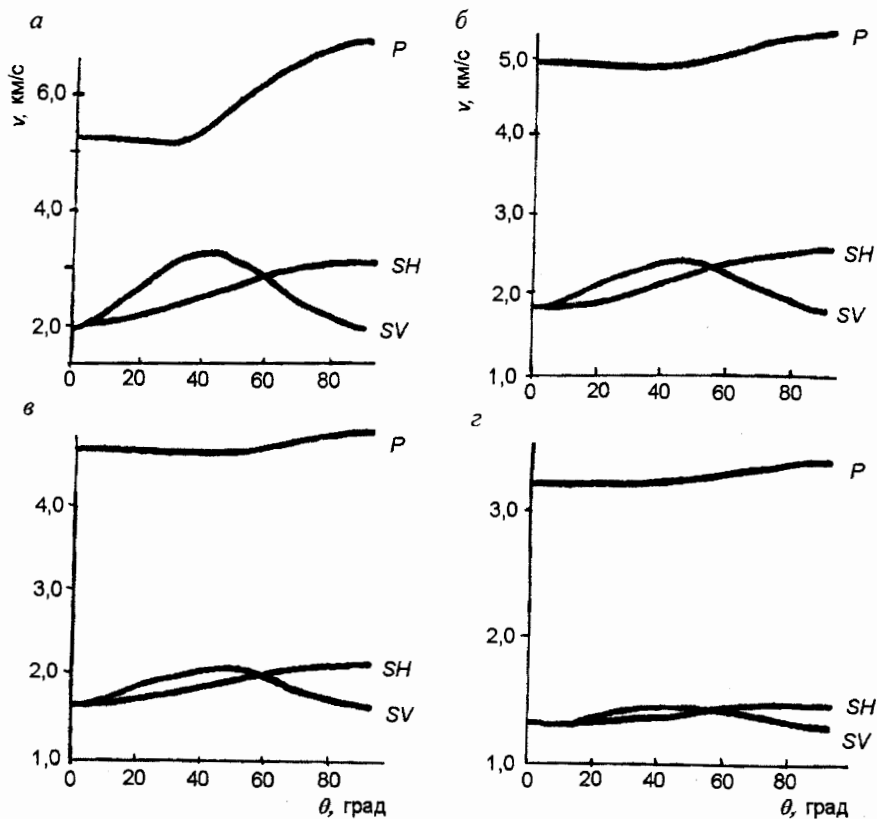


Рис. 3. Индикатрисы фазовых скоростей для моделей надрифа по скв. 1 (а) и рифа по скв. 1 (б), скв. 7 (в), скв. 5 (з).

квазианизотропные модели.

Небольшой объем обработки материалов АК сводился к следующему. Диапазон изменения скоростей в надриффе или риффе на конкретной скважине разбивался на 2 или 3 интервала. Внутри интервала определялось среднее значение скорости и оценивалась суммарная мощность слоев, участвующих в осреднении. Также рассчитывалось отношение суммарной мощности данного интервала к общей мощности исследуемого толстого слоя в процентах (η_i). Для отложений надриффа по скважинам 10 и 1 были получены близкие модели.

Для приведенных моделей пачек (табл. 1 и табл. 2) рассчитывались индикатрисы скоростей (рис. 3).

Индикатрисы скоростей свидетельствуют о том, что отложения надриффа характеризуются наибольшими значениями коэффициентов анизотропии: $K_P = 1,3$, $K_{SV} = 1,7$.

Модели рифовых отложений указывают на особенности геологического строения на различных скважинах, которые заключаются в присутствии высокоскоростных прослоев в разрезе скв. 1, в понижении скоростей компонент в скв. 5. Наибольший коэффициент анизотропии отмечается в скв. 1 — $K_{SV} = 1,33$, в скв. 7 $K_{SV} = 1,25$, в скв. 5 $K_{SV} = 1,09$.

Т а б л и ц а 1. Упругие параметры слоев пачки надриффовых отложений, скв.1

v_p	v_s	ρ , г/см ³	η_i , %
км/с			
7,0	4,0	2,80	40
5,5	2,7	2,55	40
4,0	1,2	2,20	20

Т а б л и ц а 2. Упругие параметры слоев пачки рифовых отложений

Скв.1				Скв.7				Скв.5			
v_p	v_s	ρ , г/см ³	η_i , %	v_p	v_s	ρ , г/см ³	η_i , %	v_p	v_s	ρ , г/см ³	η_i , %
км/с				км/с				км/с			
16,5	3,9	2,8	25	5,5	2,7	2,55	50	4,0	1,6	2,4	80
5,2	2,6	2,4	50	4,2	1,3	2,40	50	2,8	1,0	2,2	20
4,0	1,2	2,5	25								

В целом, наблюдаемая в реальной среде анизотропия является, по-видимому, более сильной и более сложной по своей природе. Она связана не только с характером тонкой слоистости отложений, но и с направленной трещиноватостью среды. Изучение влияния фактора трещиноватости по имеющемуся экспериментальному материалу представляется затруднительным, однако некоторые исследования в дальнейшем предполагается выполнить. На данном же этапе работ по изучению квазианизотропии карбонатных отложений появилась принципиальная возможность прогнозировать свойства волновых полей в зависимости от различий в анизотропных моделях надриффовых и рифовых отложений.

Прогнозирование полей отраженных волн по анизотропным моделям верхнеюрских карбонатных отложений

С целью прогнозирования сейсмических полей рассчитывались кинематические и динамические характеристики продольных и обменных отраженных волн, образованных в верхнеюрских карбонатных отложениях. Использовалась программа, реализующая нулевое приближение лучевого метода для полей отраженных волн, образованных в средах с произвольным законом анизотропии (авторы Б. М. Каштан, А. А. Ковтун, В. В. Решетников).

В программу могут быть заданы модели, состоящие не более чем из десяти слоев с плоскими горизонтальными границами раздела. Слои являются либо изотропными, либо анизотропными. В связи с возможностями программы были рассмотрены три семислойные модели (табл. 3–5), одна из которых является полностью изотропной, а две другие содержат по два анизотропных слоя, условно соответствующих надриффу и риффу. Параметры изотропной модели (М-0) приведены в табл. 3, в табл. 4 и 5 приводятся параметры анизотропных слоев в двух других моделях.

Т а б л и ц а 3. Параметры изотропной модели М-0

Номер границы	H, м	v_p	v_s	ρ , г/см ³
		км/с		
1	1400	2,4	1	2,1
2	2400	3,5	1,4	2,3
3	2500	4,7	2,35	2,2
4	2600	6,3	3,2	2,6
5	2850	5	2,6	2,5
6	2950	6,5	3,3	2,6
7	—	4,5	2,3	2,4

Параметры слоев 1, 2, 3 и 6, 7 совпадают для всех трех моделей. Характерные различия рассмотренных моделей сводятся к следующему. В модели М-1,

Т а б л и ц а 4. Упругие модули анизотропных слоев надриффа и рифа

Модель	Номер границы	H, м	\bar{A}	\bar{C}	\bar{F}	\bar{L}	\bar{N}	$\bar{\rho}$, г/см ³
			10 ¹⁰ дин/см ²					
М-1	4	2600	83,65	43,29	22,08	16,70	25,75	2,58
	5	2850	5,39	27,10	14,20	4,41	17,49	2,38
М-2	4	2600	59,95	55,00	36,60	6,66	11,35	2,48
	5	2850	26,66	23,64	15,91	3,79	4,75	2,28

построенной по скважинам 10 и 1, отмечается сильная анизотропия, что, по-видимому, является характерным для краевых частей рифового месторождения. В модели М-2 учтены особенности скоростного строения отложений вблизи купола рифа, отмечаемые по скважинам 5 и 7. Абсолютные значения скоростей v_p и v_s по этим скважинам понижаются, уменьшается и степень анизотропии.

Т а б л и ц а 5. Скоростные параметры пачек тонких слоев в модели

Модель	Надрифф				Рифф			
	v_p	v_s	ρ , г/см ³	η , %	v_p	v_s	ρ , г/см ³	η , %
	км/с				км/с			
М-1	7,0	4,0	2,8	40	6,5	4,0	2,8	33
	5,5	2,7	2,55	40	4,0	1,6	2,4	33
	4,0	1,2	2,4	10	2,5	1,0	2,0	33
	2,0	0,6	2,0	10				
М-2	5,5	2,7	2,55	50	4,0	1,6	2,4	66
	4,2	1,3	2,4	50	2,5	1,0	2,1	34

Рассчитывались следующие коды волн: однотипные продольные волны, отраженные от границ 3, 4, 5, 6; волны, испытавшие обмен в акте отражения на границах 4, 5, 6. Рассмотренные три обменные отраженные волны на границе 3 обмениваются снова и до дневной поверхности распространяются со скоростью продольных волн.

Результаты расчетов позволили выполнить различные сопоставления кинематики и динамики волн.

Проведем сравнение кинематики продольных и обменных волн в отдельных моделях. Для изотропной модели М-0 волны PS характеризуются большей крутизной годографов. При этом чем глубже граница и чем больший путь волна проходит с поперечной скоростью, тем отмечаемые различия больше. Максимальные различия в крутизне Δt достигают 0,011 с на расстоянии $x = 2,4$ км от источника и 0,033 с для $x = 4,5$ км.

В анизотропной модели М-1 отмечаются наиболее разительные отличия в кривизне годографов волн PP и PS . Следует обратить внимание на то, что до расстояний $x = 2,4$ км обменные волны имеют меньшую крутизну, чем продольные — $\Delta t = -(0,02 - 0,03)$ с; для $x = 4,5$ км годографы PS резко изламываются. Крутизна их превосходит крутизну волн PP на 0,05–0,06 с. Наблюдаемое поведение годографов (рис. 4) объясняется особенностями индикатрис продольных и поперечных скоростей. На расстояниях $x > 2$ км продольные скорости непрерывно возрастают, а поперечные — уменьшаются и благодаря этому возникают большие различия в кривизне годографов.

В модели М-2 крутизна годографов волн PP и PS отличается незначительно ($\Delta t < 0,01$ с). Приведенные здесь данные свидетельствуют о том, что только в изотропной модели возникают привычные для сейсморазведчиков соотношения между кривизной годографов продольных и обменных волн. Наличие анизотропии скоростей может приводить к ситуациям, когда крутизна годографов совпадает, либо обменные имеют меньшую крутизну, чем продольные.

Выполним сравнение кинематики PS волн в разных моделях. Такое сопоставление имеет смысл, если мы хотим выявить диапазон изменения характеристик обменных волн в зависимости от изменения характера строения среды. Если годографы PS волн в изотропной модели взяты в качестве эталонов, то относительно их в модели М-1 отмечаются значительно более пологие годографы PS волн. Δt для годографов в зависимости от изменения эпицентрального расстояния и номера волны составляют — (0,02–0,06) с.

Для модели М-2 рассчитанные годографы PS волн являются более крутыми, чем в изотропной модели, и Δt здесь составляют +0,005 с ($x = 2,4$ км) и +0,003 с ($x = 4,2$ км). Таким образом, можно предположить, что при анализе кинематики обменных волн вдоль профилей наблюдений могут ожидать значительные изменения в кривизне годографов при условии пересечения разных типов разрезов, кривизна годографов возрастает на куполе рифа и уменьшается в сторону зарифовой части разреза. Знак величины Δt определяется кривизной эталонных годографов.

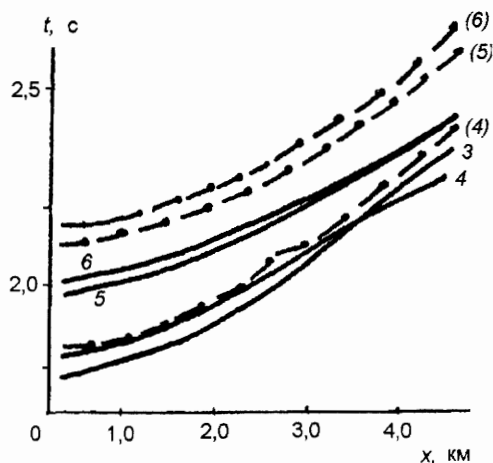


Рис. 4. Годографы продольных и обменных волн. Модель М-1.

Цифры у кривых — номера отраженных волн PP , соответствующих номерам границ их образования, цифры в скобках — номера волн PSP .

Сравним кинематические характеристики P волн в разных моделях. Рассмотрим в качестве эталонов годографы продольных отраженных волн в изотропной модели. Тогда годографы волн PP в моделях $M-1$ и $M-2$ на расстояниях $x = 2,4$ км отличаются незначительно от эталонов ($\Delta t = -0,01$ с). На больших расстояниях модели $M-1$ годографы выполаживаются: $\Delta t = -(0,01 - 0,02)$ с, в модели $M-2$ становятся более крутыми: $\Delta t = +(0,03 - 0,04)$ с.

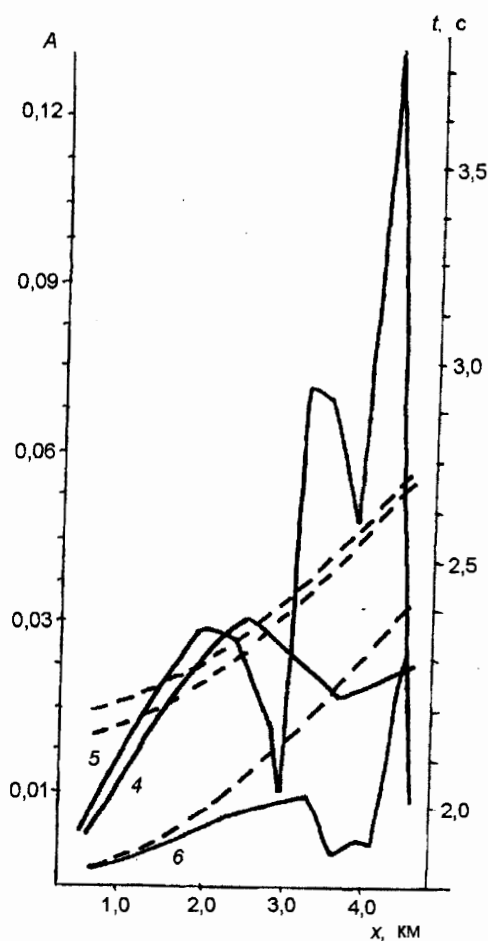


Рис. 5. Годографы (штриховые линии) и амплитудные кривые (сплошные линии) обменных волн. Модель $M-2$.

4, 5, 6 — номера волн.

В целом, выполненный анализ кинематических особенностей полей отраженных волн показывает, что существует тесная связь отмеченных особенностей с характером скоростного строения среды. В модели $M-1$, отвечающей анизотропной среде, образуются более пологие годографы, чем в модели $M-2$. Различия в крутизне годографов существенны и могут достигать 40–60 мс.

Сопоставим амплитудные характеристики отраженных волн в анизотропных моделях. Основное внимание при анализе амплитуд уделялось соотношению интенсивности волн PP и PS , а также рассмотрению изменений амплитуд этих волн в зависимости от особенности моделей.

В целом, амплитуды волн PS для всех моделей составляют 0,6–0,3 от амплитуд соответствующих продольных отраженных волн. По данным расчетов они имеют значимые интенсивности. Наиболее интенсивными волнами типа PS являются волны в модели $M-2$, наименее интенсивными — в изотропной модели (рис. 5). Повышение уровня интенсивности волн PS модели $M-2$ объясняется общим понижением v_s и повышением перепадов поперечных скоростей на границах модели.

Анизотропия скоростей поперечных волн в надриффе и рифе является одной из причин повышения уровня интенсивности обменных волн.

Выполненное прогнозирование волновых полей отраженных волн с учетом квазианизотропии карбонатных отложений показало, что их кинематические и динамические характеристики имеют существенные различия. Используемый в приведенных исследованиях подход может быть применен для изучения характера изменения анизотропных свойств геологического разреза и более детального прогнозирования закономерностей изменения свойств волновых полей. Выявленные закономерности могут быть использованы при обработке и интерпретации материалов ОГТ.

Указатель литературы

1. Молотков Л. А. Матричный метод в теории распространения волн в слоистых упругих и жидких средах. Л.: Наука, 1984. 201 с.
2. Невский М. В. Квазианизотропия скоростей сейсмических волн. М.: Наука, 1974. 179 с.
3. Уайт Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. М.: Недра, 1986. 262 с.
4. Маслова С. И. Об определении упругих параметров анизотропии осадочных отложений по данным акустического каротажа (АК) // Исследования распространения сейсмических волн в анизотропных средах. Новосибирск: Наука, 1992. С. 134-147.
5. Голикова Г. В., Чижова М. В. Поле отраженных волн в осадочных флюидонасыщенных отложениях // Геофизика. 1996. № 5-6. С. 75-81.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 96-05-64804.