

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБМЕННЫХ ВОЛН НА БОЛЬШИХ УДАЛЕНИЯХ В СРЕДЕ С АЗИМУТАЛЬНО-АНИЗОТРОПНЫМИ СЛОЯМИ

Екатерина Евгеньевна Хогоева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: KhogoevaEE@ipgg.sbras.ru

Владимир Викторович Карстен

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, e-mail: KarstenVV@ipgg.sbras.ru

В данной работе анализируется влияние мощного азимутально-анизотропного интервала на кинематику отраженных обменных волн. Предпринята попытка отделить влияние слоистости разреза с помощью рассмотрения отдельных азимутальных профилей.

Ключевые слова: анизотропия, аппроксимация годографа, негиперболическая аппроксимация, обменные волны, трансверсально-изотропная среда.

KINEMATIC FEATURES OF CONVERTED WAVES AT LARGE OFFSETS IN A MEDIUM WITH AZIMUTHALLY ANIZOTROPIC LAYERS

Ekaterina E. Khogoeva

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, e-mail: KhogoevaEE@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Karsten

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Researcher, e-mail: KarstenVV@ipgg.sbras.ru

This paper analyses the influence of a thick horizontal - transversely isotropic interval on kinematics of converted waves. We attempted to distinguish the effect of horizontal layering considering azimuthal profiles separately.

Key words: anisotropy, converted waves, transversely isotropic media, non-hyperbolic approximation, travelttime approximation.

Коллекторы углеводородов, представленные толщей с ориентированными в некотором азимуте трещинами, описываются азимутально-анизотропными интервалами. Явным признаком присутствия азимутальной анизотропии является расщепление поперечной волны. Наиболее удобным представляется изучать такое расщепление с использованием обменных волн [1]. Актуальным является изучение кинематики обменных волн в таких разрезах.

На малых удалениях годографы отраженных волн описываются гиперболоидом, в случае азимутальной анизотропии — гиперболоидом с эллиптическим сечением [5]. Однако влияние азимутальной анизотропии сильнее проявляется на больших удалениях, где годограф обменной волны начинает заметно отличаться

от гиперболического. Поэтому для аппроксимации годографа необходим негиперболический режим, и по результатам предыдущих исследований наилучший результат был получен аппроксимацией сдвинутой гиперболой [2, 3]. В ряде работ, которые обобщены в статье S. Fomel и A. Stovas [4], предлагаются негиперболические аппроксимации, подходящие для азимутально-изотропных сред. В работе Q. Нао и A. Stovas [6] предложена аппроксимация отраженных волн, учитывающая неэллиптичность за счет добавления членов разложения по Тейлору, но для описания площадного годографа требуется 13 коэффициентов.

Для изучения поверхностного годографа обменных волн была взята горизонтально-слоистая модель с 11 слоями с анизотропным интервалом на глубинах 1450—1750 м. Анизотропный интервал состоит из трех трансверсально-изотропных слоев разной мощности с одинаково направленными осями симметрии вдоль азимута 55° (таблица). Были рассчитаны годографы обменных волн, отраженных от подошвы анизотропного интервала на глубине 1750 м. Разность рассчитанных времен прихода быстрой и медленной волн на вертикали приближенно равна 22.1 мс.

Сейсмогеологическая модель среды

№	Глубина кровли, м	v_p , м/с	v_s , м/с	ρ , кг/м ³	ϵ	δ	γ
1	0	2 790	1 670	1.8	0	0	0
2	220	5 240	2 760	2.4	0	0	0
3	507.5	4 800	2 740	2.06	0	0	0
4	630	6 000	3 180	2.71	0	0	0
5	797.5	4 880	2 730	2.69	0	0	0
6	940	5 680	3 020	2.65	0	0	0
7	1207.5	4 790	2 650	2.06	0	0	0
8	1450	5 810	2 610	2.73	-0.004	-0.019	-0.017
9	1600	5 700	2 490	2.79	-0.004	-0.019	-0.017
10	1690	5 630	2 490	2.77	-0.004	-0.019	-0.017
11	1750	3 000	1 800	2.35	0	0	0
12	1767.5	4 253	2 180	2.56	-0.002	-0.021	-0.016

Исследование кинематических особенностей отраженных обменных волн в имеющейся модели было осуществлено по годографам, полученным на регулярной радиальной системе наблюдений [2].

Среднеквадратическое отклонение от рассчитанного годографа при подборе аппроксимации для каждого азимута оказалось на порядок меньше, чем при использовании обычной гиперболы, но при этом требуется независимое определение параметра сдвига в каждом азимуте.

Погрешность аппроксимации поверхностного годографа волны PS_1 при таких удалениях гиперболоидом с эллиптическим сечением показана на рис. 1.

В каждом азимуте наблюдаются отклонения от гиперболы, что отражает влияние слоистости среды, а азимутальные вариации для фиксированного удаления вызваны азимутальной анизотропией НТИ-слоев. Для того, чтобы исключить влияние слоистости и анализировать только азимутальную анизотропию, далее весь набор данных был разбит на азимутальные профили.

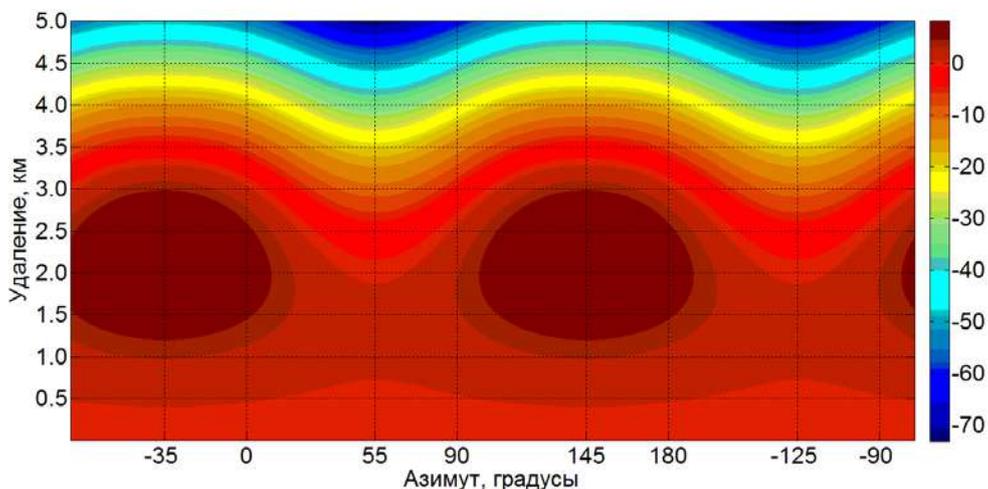


Рис. 1. Разность между временем пробега обменной волны PS_1 и его аппроксимации эллиптическим гиперболоидом на базе 5 км. Шкала в мс.

На рис. 2 показаны отклонения азимутального годографа волны PS_1 от эллипса для всех азимутальных профилей. Видно, что на малых удалениях азимутальный годограф достаточно точно описывается эллипсом. При увеличении расстояния сильнее проявляется влияние анизотропии и азимутальные отклонения, которые подробно можно рассмотреть на рис. 3, где приведены круговые профили обеих отраженных обменных волн на максимальном удалении в 5 км. Розовым цветом приведены эллиптические аппроксимации этих времен пробега.

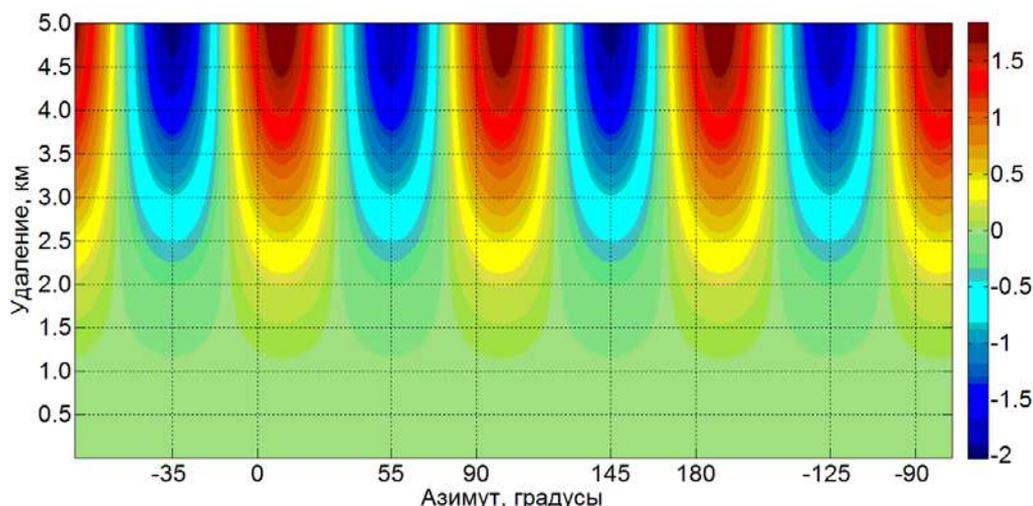


Рис. 2. Разность между временами пробега обменной волны PS_1 и их эллиптическими аппроксимациями для всех круговых профилей. Шкала в мс

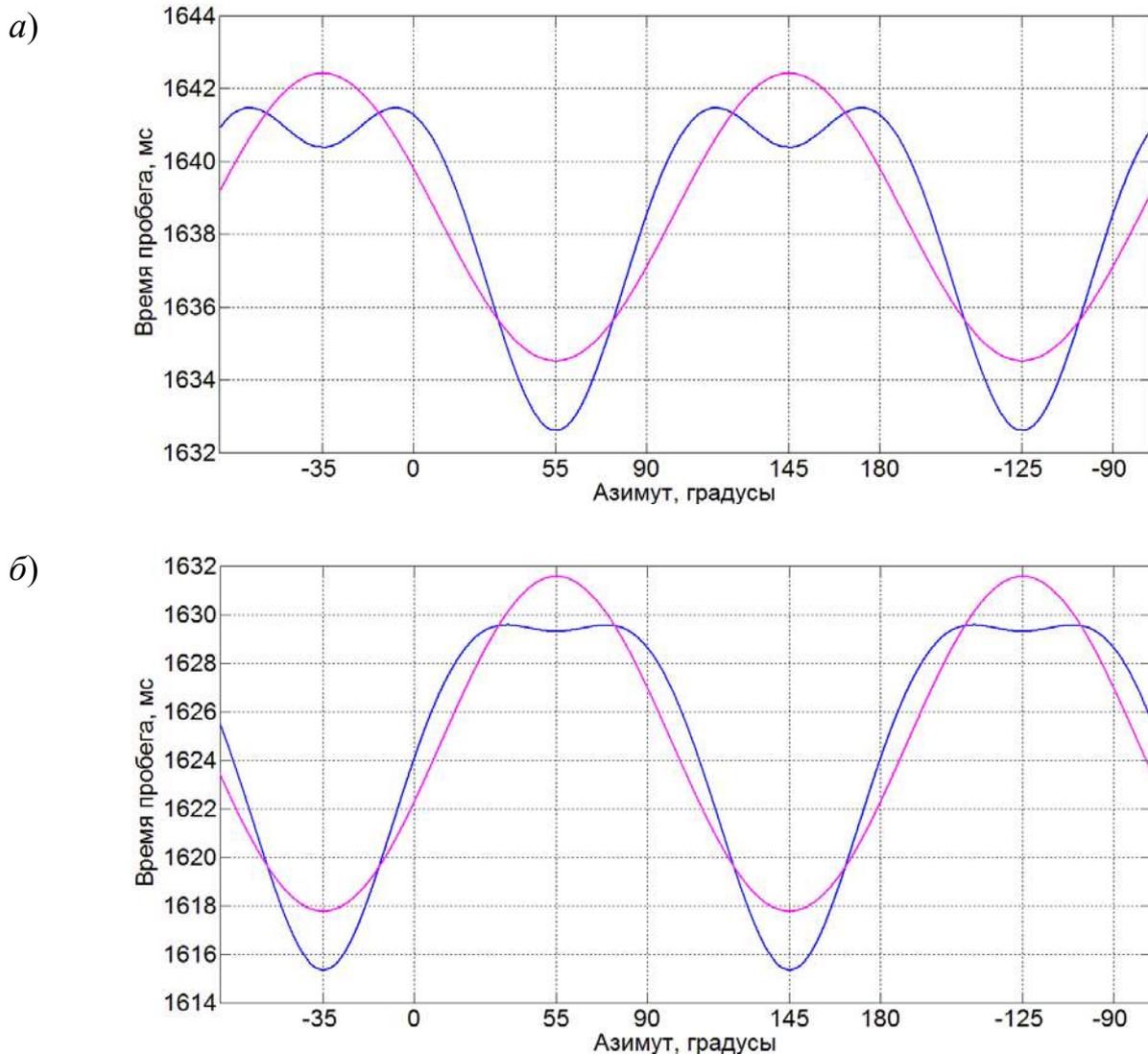


Рис. 3. Времена прихода (синим цветом) обменных волн на азимутальном профиле с удалением 5 000 м и эллиптическая аппроксимация МНК (розовым цветом):
 а) PS_1 ; б) PS_2

Несмотря на существенную мощность анизотропного интервала и значительную анизотропию в рассматриваемой модели, влияние слоистости разреза на времена пробега обменных волн оказывается более сильным, чем азимутальные вариации. При этом азимутальный годограф отраженной обменной волны в среде, содержащей азимутально-анизотропные интервалы, осложняется дополнительными гармониками, что вызвано выходом лучевых схем из плоскости источник-приемник-точка отражения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляризационный анализ отраженных PS-волн в средах с переменным направлением трещиноватости / С.Б. Горшкалев, В.В. Карстен, Е.В. Афонина, Д.М. Вишневский, Е.Е. Хогоева // Технологии сейсморазведки. – 2016. – № 1. – С. 52–60.

2. Хогоева Е.Е., Карстен В.В. Азимутальная зависимость коэффициента сдвига касловской аппроксимации для негиперболического годографа PS волн в слоистой НТИ среде // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 4. – С. 180–185.

3. Castle R. J. A Theory of normal moveout // *Geophysics*. – 1994. – Vol. 59. – N. 6. – P. 983–999.

4. Fomel S., Stovas A. Generalized nonhyperbolic moveout approximation // *Geophysics*. – 2010. – Vol. 75. – N. 2. – P. U9–U18.

5. Grechka V., Tsvankin I., Cohen J.K. Generalized Dix equation and analytic treatment of normal-velocity for anisotropic media // *Geophysical Prospecting*. – 1999. – Vol. 47. – P. 117–148.

6. Hao Q., Stovas A. Three Dimensional Generalized Nonhyperbolic Moveout Approximation - Application on a 3D HTI Model // 76th EAGE Conference and Exhibition. – 2014. – Tu P03 10.

© Е. Е. Хогоева, В. В. Карстен, 2019