Записки научных
семинаров ПОМИ
Том 253, 1999 г.

Д. К. Озеров, Ю. А. Сурков

О ВЛИЯНИИ ТОНКИХ СЛОЕВ НА ПЕРВЫЕ ФАЗЫ ПРЯМОЙ ВОЛНЫ

При интерпретации данных сейсморазведки, отвечающих внутренним точкам среды, важную роль играет вопрос о правильности определения первых фаз "вступлений" прямых волн и о неизменчивости (или о практической неизменчивости) структуры фаз, образующих группу первых вступлений. В частности, для одного из основных методов сейсморазведки, каковым является метод ВСП, крайне важно иметь достаточную уверенность в том, что при распространении в изучаемой среде группы фаз первых вступлений (т.е. при распространении сейсмического сигнала) не происходит "пропадания" первых фаз вступления. Ведь только это обеспечивало бы правильность определения времен прихода сигналов в точки наблюдения, на чем основаны все построения упомянутого метода.

Однако в вопросе о сохранении структуры группы первых фаз вступления сейсмического сигнала еще нет полной ясности. В литературе указывается, что наличие тонкослоистости в разрезе может затруднять определение первых вступлений и приводить к искажению последующих экстремальных фаз прямой волны, по которым обычно производится корреляция волн и определение кинематических и динамических их параметров (см., например, [1] и [2]). При этом отмечается также и увеличение длительности формы записи прямой волны в разрезах с сильной скоростной дифференциацией. Но четкого ответа на обсуждаемый вопрос (дошедшего до страниц учебной литературы), по-видимому, еще не получено.

Не ставя целью дать полное решение вопроса, мы хотим здесь лишь указать на возможность существенного изменения первой фазы прямой волны (ее длительности и амплитуды), распространяющейся вглубь горизонтально-слоистой среды, содержащей пачки тонких слоев. В первом нашем примере формирова-

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект No. 98-01-00316.

ние первой фазы происходит в результате синфазного наложения кратно-отраженных волн и прямой волны. Во втором же случае искажение первой фазы наблюдается вследствие противофазной интерференции прямой волны с кратными волнами, что приводит к заметному уменьшению длительности и амплитуды первой фазы (вплоть до ее "пропадания").

Расчеты волновых полей проводились как на вертикали, так и при отклонении от вертикального луча на $\simeq 15^\circ$ по новой программе (автор В. В. Решетников), учитывающей методику расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах, предложенную в работе [3]. К сожалению, некоторые ограничения в программе на число слоев, а также на возможность вычисления волновых полей во внутренних точках среды, не позволили оценить вклад в суммарное поле волн, отраженных от границ, расположенных ниже точки наблюдения.

1. Рассматривается модель среды, состоящая из пяти пачек тонких слоев, разделенных толстыми слоями с упругими параметрами:

$$V_p \simeq 2,7\text{км/с}, \quad V_s \simeq 1,1\text{км/с}, \quad \rho \simeq 2,2\text{г/см}^3, \tag{1}$$

где V_p и V_s – скорости распространения продольных и поперечных волн, ρ – плотность. Каждая из пачек включает в себя три слоя равного времени, при этом верхний и нижний слои являются высокоскоростными

$$V_p \simeq 4,7\text{км/с}, \quad V_s \simeq 2,3\text{км/с}, \quad \rho \simeq 2,5\text{г/см}^3, \tag{2}$$

а промежуточный слой – низкоскоростной, который характеризуется упругими параметрами (1). Описанная система из тонких и толстых слоев расположена между двумя низкоскоростными полупространствами (1), в верхнем из которых находится источник упругих колебаний, а в нижнем полупространстве – приемник. Форма записи импульса в источнике и соотетствующий ему модуль спектра, используемые при вычислении, приведены на рис. 1.

Расчет волнового поля (вертикальной его составляющей) проводился при падении плоской волны на тонкослоистую пачку из верхнего полупространства для восьми реализаций модели, отличающихся друг от друга мощностями h тонких слоев в пачках. Эти мощности выбирались таким образом, чтобы продольные

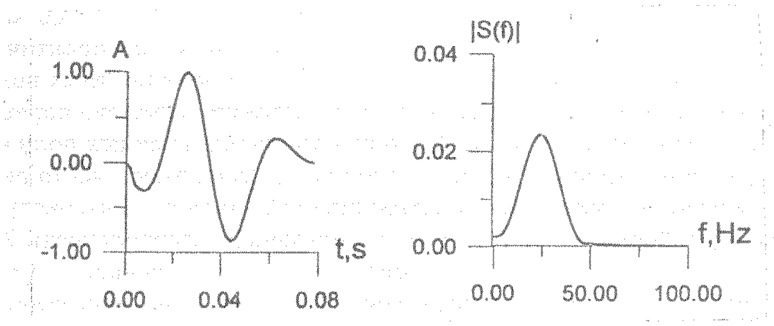

Рис. 1.

кратно-отраженные волны в тонких слоях одновременно накладывались бы на разные участки первой фазы прямой волны, и тем самым менялись бы условия интерференции прямой и кратных волн.

$$2h = Vk\Delta t \quad (k = 1, 2, \dots, N; \quad N = T_1/\Delta t), \tag{3}$$

где V – скорость распространения волны в тонком слое, k – количество точек на которые происходит временной сдвиг, T_1 – временная длительность первой фазы прямой волны, а Δt шаг дискретизации формы записи волны. При этом кратные волны при $k = 1$ накладываются на прямую волну практически синфазно, а при $k = N = 8$ кратные волны не искажают первую фазу сигнала, а оказывают влияние только на последующие экстремумы сейсмической записи. На рис. 2 приведены теоретические сейсмограммы для восьми вышеописанных реализаций модели. При этом сейсмограмма (рис. 2а) соответствует вертикальному падению, а на рис. 2в показаны сейсмограммы, вычисленные при отклонении от вертикали примерно на 15°. Таким образом, записи на одних и тех же трассах на рис. 2а и на рис. 2в соответствуют одной и той же реализации модели, но отличаются тем, что получены при разных углах падения плоской волны на тонкослоистую пачку. Заметим, что изменения величины скоростей продольных V_p и поперечных V_s волн, либо мощностей h тонких слоев на $\simeq 10\%$ не оказывают влияния на первую фазу колебаний. Поскольку все сейсмограммы приведены в одном и том же вертикальном масштабе, показанном на рисунке, то можно видеть изменение первых фаз колебаний в зависимости от мощности тонких слоев. На первых четырех трассах сейсмограмм длительность T_1 первой фазы и ее амплитуда практически остаются стабильными. Вместе с тем, влияние кратных волн здесь сказывается в существенном возрастании амплитуд первых фаз за счет практически синфазного наложения кратных волн на прямую волну. Однако, начиная с пятой трассы, имеет место резкое изменение этих характеристик: нижняя часть первого экстремума явно "срезана", увеличилась временная длительность T_1, существенно (по сравнению с первой трассой) уменьшилась его интенсивность. Последующие фазы колебаний также исказились. Все эти изменения объясняются влиянием кратных волн, образующихся на вышележащих границах, на форму прямой волны. Кратные волны в зависимости от величины запаздывания $k\Delta t$ накладываются на разные участки прямой волны и тем самым существенно меняется форма результирующего колебания. В данном случае такую картину создают всего лишь 15 тонких слоев. Очевидно, что при увеличении количества слоев в модели эффект будет более значителен.

2. Рассмотрим модель, состоящую из 19 последовательно чередующихся тонких и толстых слоев. Для описания модели тонким слоям с параметрами (1), (начиная сверху вниз), присвоим нечетные номера $n = 1, 3, 5, \ldots, 19$. Верхнее и нижнее полупространства, а также толстые слои с номерами $n = 4, 8, 12, 16$ характеризуются упругими параметрами

$$V_p \simeq 1,55\text{км/с}, \quad V_s \simeq 0,6\text{км/с}, \quad \rho \simeq 1,94\text{г/см}^3.$$

Толстые же слои с номерами $n = 2, 6, 10, 14, 18$ являются высокоскоростными с упругими параметрами (2). Толстые слои могут отличаться друг от друга по мощности, так как это не влияет на первые фазы изучаемого колебания. Источник упругих колебаний и приемник расположены так же, как было описано в п. 1.

Расчеты проводились для восьми вариантов модели среды. Мощности тонких слоев в каждом из них выбирались так, чтобы кратные волны накладывались на прямую волну с запаздыванием $k\Delta t$ (в соответствии с (3)). В этом случае знаки вступлений кратных волн, образующихся на вышележащих границах, оказываются противоположными по отношению к прямой волне. Результаты расчетов представлены на рис. 3. Видно, что за счет влияния

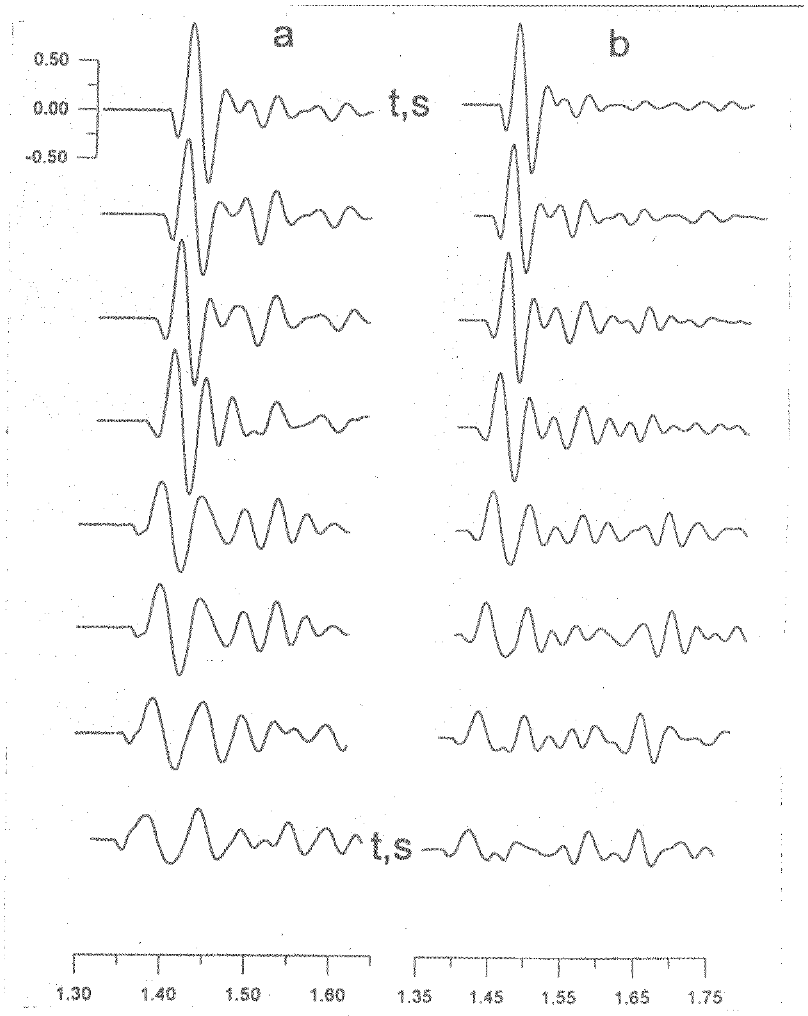

Рис. 2.

кратных волн амплитуда прямой волны уменьшается примерно в 3 раза (рис. 3а). Особенно это проявляется на рис. 3в, где на первых двух трассах первая фаза колебаний вообще становится незаметной в результате противофазной интерференции им-

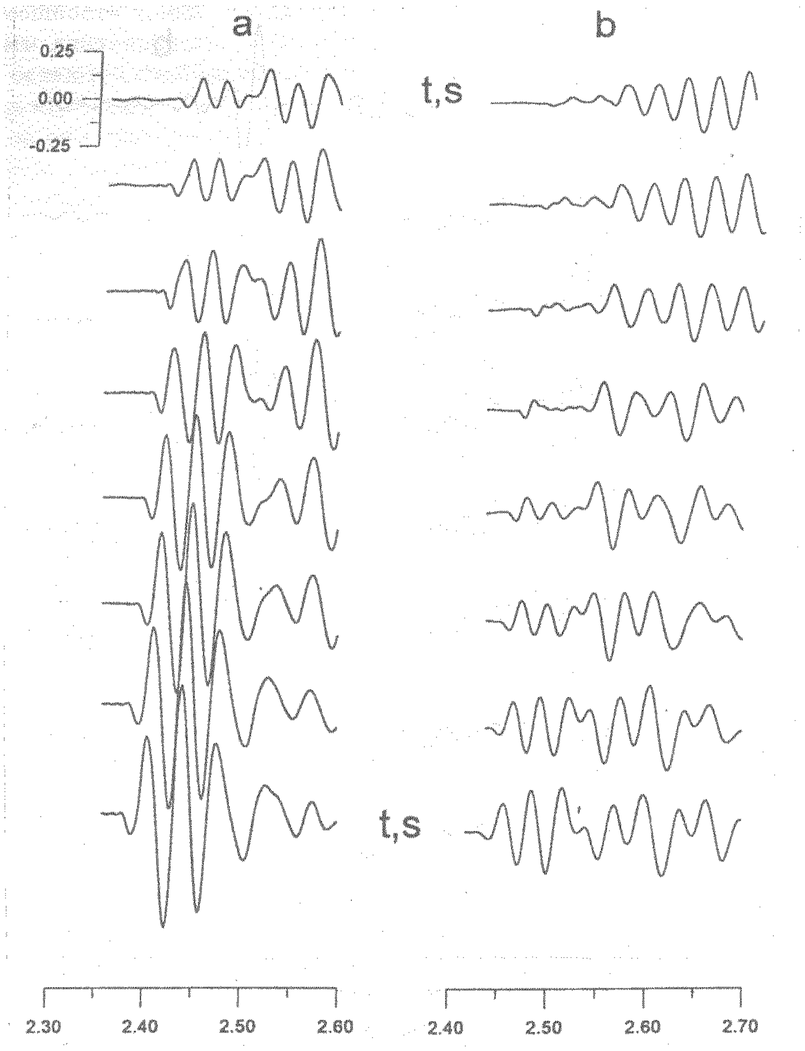

Рис. 3.

пульса прямой волны с кратными волнами. Можно видеть также заметное уменьшение временной длительности этой фазы. Были также проведены расчеты амплитуд на вертикали при $t \ll T_1$.

При коэффициенте отражения $|\varkappa| = 1/3$ амплитуда уменьшается приблизительно в три раза за счет преломлений на границах, а в результате влияния кратных волн она уменьшается дополнительно в четыре раза. С увеличением числа тонких слоев этот эффект возрастает. Так, например, в случае 100 тонких слоев со слабыми перепадами значений упругих параметров на границах ($|\varkappa| = 0,1$), что весьма вероятно, происходит уменьшение начальных амплитуд в три раза за счет преломлений на границах, а в результате наложения кратных волн – еще примерно в три раза (итого приблизительно в девять раз).

3. В заключение следует подчеркнуть, что приведенные примеры нужно рассматривать лишь как указание на существование проблемы об искажении (и даже о пропадании) первой фазы вступлений сигналов, распространяющихся в слоистых средах. Нам представляется, что внимание к такой проблеме оправдано как с познавательной, так и с прикладной точек зрения. При этом наряду с нормально-падающими сигналами, следует рассматривать и случаи отраженно-преломленных сигналов, распространяющихся в области допредельных углов падения.

Литература

1. И. С. Берзон, С. А. Кац, В. И. Костенич, Л. И. Ратникова, *Отраженные и проходящие волны для пачек слоев со случайной структурой в квазиоднородной среде. Сейсмические волны в тонкослоистых средах.* М, Наука, 1973, с. 86–108.
2. О. К. Кондратьев, *Сейсмические волны в поглощающих средах.* М, Недра, 1986, с. 175.
3. Л. И. Ратникова, *Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах.* М, Наука, 1973, с. 124.

Ozerov D. K and Surkov Yu. A. On the influence of thin layers on the leading phases of a direct wave.

It is shown that in the case of a horizontal-layered medium multiple waves formed in thin layers may influence essentially on the leading phases of a direct wave propagated into medium.

С.-Петербургское отделение
Математического института
им. В. А. Стеклова АН СССР

Поступило 8 февраля 1999 г.