Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1984, т. 101

УДК 550.834

ВОЛНОВЫЕ ПОЛЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ЗОНАМ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В РУДНЫХ РАЙОНАХ

О.В.МИРОШНИКОВА, Ю.Г.ШОПИН

Результаты сейсморазведочных работ в районах, сложенных магматическими образованиями, свидетельствуют о большой роли в формировании волновых полей элементов разрывной тектоники. С разломами в рудных районах связаны наиболее интенсивные отраженные волны, характеризующиеся фазовыми и групповыми годографами и большими областями прослеживания. Однако задача определения природы волн осложняется близостью кинематических и динамических свойств волн, отраженных от литологических границ и зон разломов. Найти четкие критерии их разделения в сложных волновых полях не всегда удается из-за изменчивости физико-геологического строения среды.

Важным фактором, определяющим кинематические особенности отражений от разломов, являются характерные морфоструктурные признаки глубинных рудоконтролирующих разломов (надвиги, тектоно-магматические зоны, крупные формационные разломы и т.п.). Для них отмечается строго ориентированная внутренняя слоистость с преимущественным падением, совпадающим с направлением падения основной плоскости разлома, представляющая собой систему тонких слоев с плоскопараллельными границами [2, 5-7, II]. Такая плоскопараллельная тонкослоистая структура разломов определяет кинематические свойства связанных с ними волн: геометрически правильная форма годографов, наличие не только групповой, но и фазовой корреляции, протяженные области прослеживания.

Другим благоприятным условием определения волн по кинематическим признакам является несогласное залегание литологических границ и зон разломов. Последние обычно прослеживаются от дневной поверхности, пересекая слоистость пород под более крутыми углами наклона. Отраженные волны от крутопадающих (более 40^{0}) разломов устойчиво прослеживаются в сложных волновых полях на значительных интервалах вплоть до первых вступлений записи вследствие того, что они имеют прямолинейные оси синфазности с отрицательными значениями кажущейся скорости, близкими к асимптотическим.

В этом случае появляется возможность, во-первых, установить место выхода отражающей границы и ее геологическую принадлежность, во-вторых, использовать информацию по двум типам волн: рефрагированной (преломленно-рефрагированной) и отраженной, что обеспечивает более надежное выявление локальных скоростных неоднородностей пород и, в частности, неоднородностей связанных с зонами тектонических нарушений.

Практика работ в рудных районах показала, что использование только кинематических признаков для распознавания волн не всегда достаточно, так как наличие на сейсмических разрезах крутопадающих границ может быть обусловлено и другими геологическими объектами. В связи с этим возникает задача выделения отличительных признаков разломов на основе изучения динамических свойств волновых полей в областях развития тектоники. В статье описаны результаты исследований особенностей динамических характеристик волн для некоторых скоростных моделей разломов, характерных для магматических образований рудных районов.

Тонкая скоростная структура разломов установлена нами на основе специальных исследований упругих свойств магматических пород в Кафанском рудном районе [2, 3, 4]. Исходным материалом для составления скоростных моделей явились графики акустической жесткости, полученные по данным лабораторных измерений плотности и скорости упругих волн для образцов керна, равномерно отобранных через интервал 5–10 м по стволу скважин глубиной до 0,8–1,0 км. Минимальная мощность бралась равной 10 м, более тонкие слои осреднялись, скорость при осреднении определялась как средневзвешенная величина.

На графиках акустической жесткости участкам тектонизированных пород, как правило, соответствует резкое уменьшение значений упругих параметров. Интервал этих изменений соизмерим или превышает длину падающей волны и составляет 100–120 м при средней величине скорости распространения упругих волн в среде 5 км/с и видимой частоте полевых записей 50–60 Гц. Границы интервалов характеризуются максимальными для исследуемых сред перепадами скорости упругих волн (0,6–0,7 км/с). Уменьшение скорости в тектонизированных породах может достигать 2–3 км/с при "фоновых" значениях, равных 5,0–5,5 км/с и соответствующих скорости в неизмененных породах.

По данным наших и других исследований упругих свойств тектонизированных пород [2–4, 6–10] тонкая скоростная структура их представляется в виде слоя пониженных значений скорости упругих волн или чередования тонких слоев повышенной и пониженной скорости, формирующего скоростные структуры, близкие к регулярным инверсионным пачкам тонких слоев. Очевидно, что крупные зоны разломов, захватывающие различные тектоно-магматические комплексы пород, могут существенно менять свою скоростную структуру в пространстве. Установить закономерности этого изменения в реальных условиях довольно сложно. Крутопадающие разломы вскрываются скважинами, как правило в одной точке, и о выдержанности скоростной структуры разломов можно судить лишь по изменению динамических свойств волновых полей наземных и скважинных наблюдений.

Выявление связи динамических свойств волновых полей с некоторыми типами скоростной структуры границ было выполнено путем численного моделирования (рис.1), основные положения которого для рассматриваемых условий изложены в работе [3]. Синтетические сейсмограммы построены для наклонных лучей, что позволяет установить закономерности изменения динамических параметров волн, отраженных от крутопадающих границ, на различном удалении от

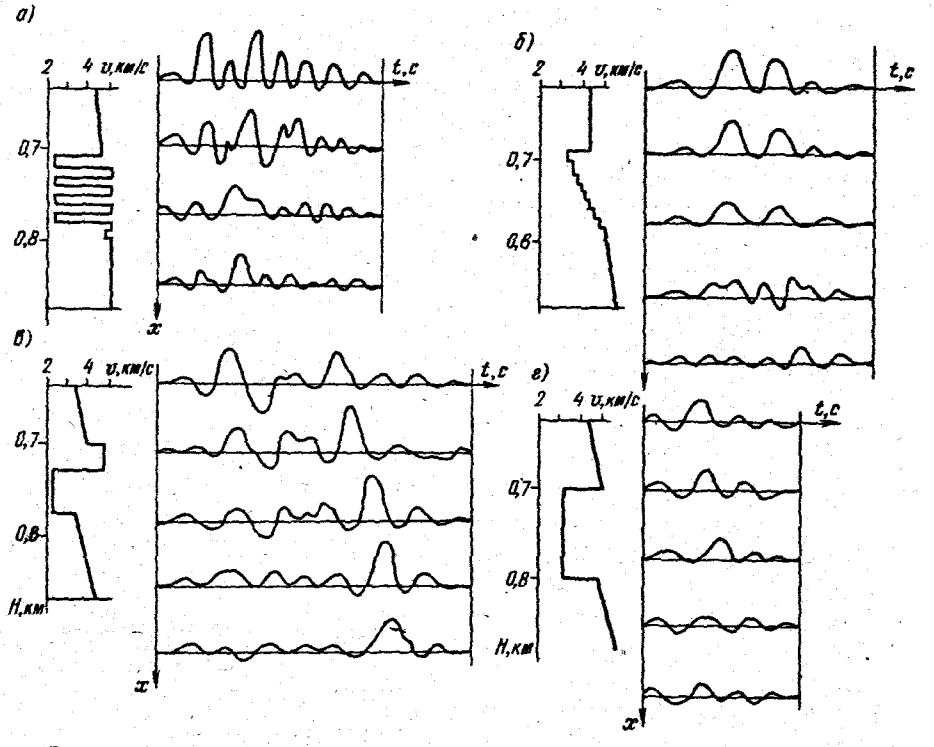


Рис.1. Скоростные модели зон тектонических нарушений и теоретические сейсмограммы, полученные на удалении от источника: а - регулярная пачка тонких слоев (модель 1); б - скоростная модель со ступенчатым нарастанием скорости в слое, характерное для литологических контактов (модель 2); в - сочетание двух слоев повышенной и пониженной скорости (модель 3); г - инверсионный слой промежуточной мощности (модель 4)

источника. Сейсмическая запись рассчитывалась на расстоянии от источника 3,6 км с переменным шагом между трассами: 25 м до расстояния I,2 км и 50 м в интервале I,2-3,6 км. При расчетах использовался осредненный импульс падающей волны с частотой 50 Гц, соответствующий записи прямой волны в ближней зоне сейсмограмм ВСП.

Сравнивая волновые поля скоростных моделей, можно отметить близость записей, сформированных от моделей I и 3. Общим признаком их является многофазная запись со сложным соотношением амплитуд внутри волнового пакета, меняющимся по мере удаления от источника. Следует отметить, что для модели 3 за счет расхождения двух основных волн, соответствующих слоям повышенной и пониженной скорости, запись сказывается более растянутой вследствие запаздывания второй волны на слое пониженной скорости. По интенсивности второе отражение превосходит первое и ослабляется только за критической точкой. Для первого отражения резкое падение амплитуд происходит на меньшем удалении от источника. Амплитудные графики, построенные по максимальной фазе для моделей I и 3, характеризуются четким докритическим мак-

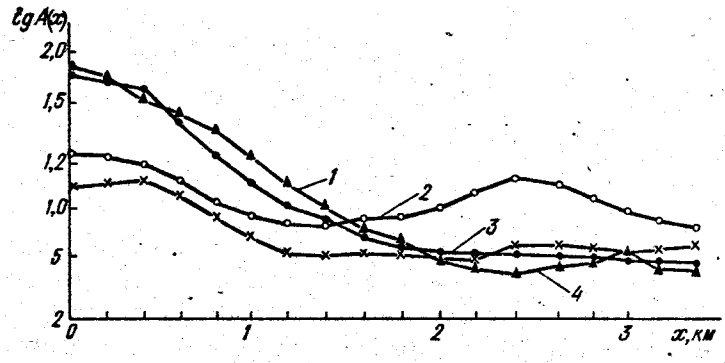


Рис.2. Амплитудные графики отраженных волн, построенные для различных моделей скоростных границ
1-4 - модели 1-4

симумом (рис.2). Для модели 2 спад амплитуд начинается на удалении свыше 900 м от источника.

Для моделей 2 и 4 получены относительные простые записи с меньшими значениями амплитуд в докритической области по сравнению с моделями I и 3. Для ступенчатой модели 2 отмечается закритический максимум, соизмеримый по величине с основным максимумом в докритической области. Форма записи этой модели меняется при переходе в закритическую область, где волновой пакет расширяется и максимальные амплитуды смещаются в сторону последующих фаз. Почти не меняется с расстоянием форма записи волнового пакета для модели 4.

В частотном отношении выделяется волновой пакет модели I, характеризующийся относительным повышением преобладающей частоты (60 Гц) в докритической области, что соответствует резонансной частоте для физических параметров данной пачки тонких слоев. С этим явлением связаны особенности амплитудных характеристик: острый докритический максимум, спадающая форма графика и отсутствие критического максимума [I]. Для остальных моделей преобладающая частота записи лежит в области 30-40 Гц, причем эта частота закономерно снижается по мере удаления от источника. Небольшое отклонение от этой закономерности в виде повышения преобладающей частоты записи наблюдается в закритической области для модели 2.

Расчеты показали, что особенности скоростной структуры границ проявляются в изменении уровня интенсивности и формы записи в докритической и закритической областях. Из рассмотренных выше четырех моделей границ наиболее сильной в энергетическом отношении оказалась инверсионная пачка тонких слоев, являющаяся типичной моделью зон тектонических нарушений в магматических образованиях. Сформированная на них запись имеет относительно высокие преобладающие (резонансные) частоты. Последнее хорошо согласуется с экспериментальными материалами, свидетельствующими о большом влиянии на формирование сложных волновых полей в рудных районах интенсивных волн, отраженных от крутопадающих разломов. Они имеют максимум интенсив-

ности в докритической области (между источником и выходом границы на дневную поверхность) и прослеживаются в более высокочастотном диапазоне, чем отражения от других границ. Кинематически они характеризуются малыми значениями кажущейся скорости и протяженными интервалами прослеживания с четким подходом отраженных волн к первым вступлениям записи.

В заключение отметим, что использование сравнительных оценок динамических свойств волн, отраженных от горизонтально-слоистых моделей, для объяснения особенностей записи от наклонных разломов в целом обеспечивается сохранением условий распространения наклонных лучей в докритической области, где имеет место лишь смещение максимума интенсивности и расширение его за счет уменьшения лучевого расхождения в сторону восстания границы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдова Н.И. Изучение тонкой скоростной структуры области перехода от коры к мантии. М., Наука, 1977.

2. Карапетян Э.М., Мирошникова О.В., Шопин Ю.Г. и др. Скоростная модель Кафанского рудного района. – Изв. АН Арм. ССР. Сер. Науки о Земле, 1980, т. 33, № 6.

3. Мирошникова О.В., Добрецион Т. Выявление связи волновых полей с тонкой структурой сейсмических границ. – Зап. ЛГИ, 1981, т. 89, вып. 2.

4. Мирошникова О.В., Шопин Ю.Г. Изучение тонкой скоростной структуры сейсмических границ в магматических породах рудных районов. – Зап. ЛГИ, 1978, т. 78, вып. 2.

5. Модели реальных сред и сейсмические волновые поля / Под ред. И.С.Берзон. М., Наука, 1967.

6. Номоконов В.П., Гречишников Г.А., Сокол И.Т. и др. Изучение разломов в метаморфически-интрузивном фундаменте методом отраженных волн. – Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1971, № 12.

7. Сейсмические волны в тонкослоистых средах / Под ред. И.С.Берзон. М., Наука, 1973.

8. Сейсмические волновые поля в зонах разломов / Под ред. А.В.Николаева. М., Наука, 1978.

9. Сейсмический метод отраженных волн в рудных районах. Методическое руководство / Под ред. И.П.Косминской. М., Недра, 1982.

10. Стародубровская С.П., Сакс М.В. Методика построения модели среды и теоретические расчеты отраженных волн в окрестностях зон разломов. – В кн.: Разведочная геофизика, вып. 64. М., Недра, 1964.

11. Тектоническая расслоенность литосферы. – Труды ГИН АН СССР, 1980, вып. 343.