Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXXIX, 1981 г.

УДК 550.834

ВЫЯВЛЕНИЕ СВЯЗИ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ С ТОНКОЙ СТРУКТУРОЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ

О.В.МИРОШНИКОВА, Т.ДЕБРЕЦИОН

В работе [5] на основе детальных исследований упругих параметров керна скважин в Кафанском рудном поле показано, что скоростной разрез магматических пород представлен преимущественно слоями небольшой мощности (до 100 м), среди которых преобладают тонкие слои мощностью 10–20 м. В таких тонкослоистых средах основными сейсмическими границами, на которых происходит отражение и преломление лучей, являются пачки тонких слоев с различными параметрами и, реже, отдельные слои. Сочетание слоев сравнительно небольшой мощности определяет сложную скоростную структуру главных элементов геологического разреза: контактов литолого-петрографических горизонтов и зон тектонических нарушений. Установление их связи с основными компонентами волнового поля является одной из важных задач при постановке сейсморазведочных работ в районах развития сложнодислоцированных магматических пород.

Для выяснения условий формирования сейсмических волн в магматических породах были привлечены результаты экспериментальных наблюдений и теоретические расчеты волновых полей для реальных моделей среды. Поскольку в рудных районах в настоящее время еще не нашли широкого применения методы сейсмоакустического каротажа, в качестве исходных данных был использован материал лабораторных измерений плотности и скорости продольных волн в образцах керна, равномерно отобранных с интервалом 5–10 м по стволу поисково-разведочных скважин Кафанского района.

Для каждой точки измерений были вычислены значения акустической жесткости W как произведения величин плотности и скорости упругих волн, которые послужили основой для составления детальных скоростных разрезов. Для осреднения графиков $W(z)$ с интервалом между точками 5–10 м не требуется сложных способов исключения высокочастотных составляющих скоростного разреза, необходимых для осреднения графиков сейсмоакустического каротажа [1, 2, 8, 9]. Практически можно ограничиться двумя-тремя вариантами осреднения графиков $W(z)$. Методика построения расчетных скоростных моде-

лей, базирующихся на этих данных, учитывает погрешность измерений упругих параметров, диапазон рабочих частот и способы решения прямой задачи. Окончательный вид скоростной модели устанавливается путем расчетов синтетических сейсмограмм и сопоставления их с экспериментальными записями.

Суммарные импульсные сейсмограммы рассчитывались для серии скважинных скоростных разрезов. Наличие детальных скоростных и плотностных разрезов каждой скважины обеспечивает надежность расчетов по графикам $W(z)$ Последнее немаловажно, поскольку использование при расчетах постоянной плотности для рассматриваемых сред может привести к значительным погрешностям определения динамических характеристик отраженных волн. Причем для реальных разрезов магматических пород, обладающих сложными связями между скоростью и плотностью, не может быть сделан даже приближенный расчет функциональной зависимости упругих параметров.

При расчете синтетических сейсмограмм форма падающего импульса определяется формой записи волны, зафиксированной на поверхности и во внутренних точках среды вблизи источника. Последние оказываются вполне сопоставимыми, ввиду практического отсутствия мощных зон малых скоростей в горнорудных районах. После осреднения формы записи прямой волны на сейсмограммах вертикального сейсмического профилирования (ВСП) получен характерный трехфазный импульс с видимым периодом, равным 0,020-0,025 с, который при расчетах был использован в качестве падающего импульса.

Для повышения сопоставимости синтетических и экспериментальных сейсмограмм учитывалось затухание волн в реальной тонкослоистой среде, обусловленное расхождением энергии от точечного источника, отражением и преломлением на границах различных неоднородностей и поглощением из-за неидеальной упругости среды. Так, поправки за расхождение фронта волны автоматически вводятся по программам [2, 7], а коэффициент затухания α_h, учитывающий рассеяние на тонких слоях и поглощение, определялся по графикам изменения амплитуд прямой волны, зарегистрированной во внутренних точках среды.

В работе [9] отмечено, что затухание волн за счет этих факторов может быть выражено в общем виде степенной функцией $\alpha(f,h)= A(h)f^{\nu}$, где f - частота импульса; h - глубина; показатель степени ν меняется в пределах от 0 до 2. Согласно теоретическим расчетам по этой формуле и экспериментальным данным в исследуемых средах, коэффициент затухания α_h был принят равным $(1{,}0 \div 1{,}2)\cdot 10^{-3}$ м$^{-1}$.

Материалы теоретических расчетов синтетических сейсмограмм, а также данные изучения волновых полей на поверхности и во внутренних точках среды явились основой для выявления в разрезе локальных скоростных неоднородностей (сейсмических границ), с которыми связано образование интенсивных отраженных волн. При определении области формирования отраженных волн учитывалась длина волны, которая в соответствии со средними значениями скорости упругих волн (3,5-5,5 км/с) и длительностью падающего импульса (0,02 с), составляет около 100 м.

Привязка отраженной волны или ее фазы к какому-либо интервалу разреза осуществлялась в соответствии со сложным механизмом образования ее в тонкослоистых средах. Как правило, регистрируемые волны в таких средах

являются результатом интерференции большого числа однократных и многократных „элементарных" отражений в месте осразования искомой волны. Задача однозначно решается при наличии одиночной границы или в том случае, когда скачок скорости на одной из границ существенно превышает величину изменения скорости на других границах.

Во всех других случаях для определения интервала разреза, участвующего в формировании отраженных волн, необходимы детальные исследования по оценке вклада отдельных слоев и их сочетаний. С этой целью было рассмотрено несколько вариантов осреднения графиков $W(z)$, когда сглаживается или совсем убирается из скоростного разреза та его особенность, влияние которой на волновое поле исследуется [I]. По характеру волнового поля для разных вариантов модели устанавливается связь волновых пакетов и отдельных экстремумов записи с определенными элементами разреза.

На основе анализа полученных синтетических сейсмограмм были выявлены фрагменты скоростного разреза, с которыми связано образование интенсивных отраженных волн. В соответствии с величиной отношения мощности слоя h к длине волны λ определены следующие основные типы скоростных моделей сейсмических границ: толстые слои с мощностью $h = \lambda$, слои промежуточной мощности $\lambda < h > 0{,}5\,\lambda$ и тонкие слои $h \leqslant 0{,}5\lambda$, а также ритмичные и случайные пачки тонких слоев.

Наименьшее распространение в исследуемых средах имеют толстые слои (границы полупространства), отраженные волны от которых характеризуются меньшей динамической выразительностью, чем отражения, связанные с другими типами сейсмических границ. Границей толстого слоя в Кафанском районе является контакт основных разностей вулканогенно-осадочных пород: порфиритов и туфов [4, 5].

Для таких границ интенсивность отраженных волн определяется, главным образом, перепадом акустической жесткости, а форма их соответствует форме падающего импульса. В том случае, когда контактирующие породы, особенно нижележащие, имеют неоднородное строение и по своим характеристикам приближаются к пачкам тонких слоев, интенсивность и форма записи отраженной волны может изменяться за счет формирования интерференционного пакета записи (рис.I).

На границах слоев промежуточной мощности (40-60 м) сигналы от кровли и подошвы фиксируются со сдвигом, большим половины периода, создавая интерференционную многофазную запись: волна, отраженная от кровли слоя, осложнена в области второй фазы наложением отраженной волны от подошвы (рис.2). Соотношение интенсивности первой и последующих фаз этих волн крайне неустойчиво и зависит от мощности слоя и перепада величин акустической жесткости на его границах. Суммирование элементарных отражений от границ слоя создает на сейсмограммах неразрешенную многофазную запись, которая в одних случаях может приближаться к фоновой записи, в других - к записи отраженных волн от пачки тонких слоев.

Модель промежуточного слоя с пониженными значениями акустической жесткости наиболее характерна для зон тектонических нарушений и тектонизированных контактов пород. Однако не всегда слой промежуточной мощности

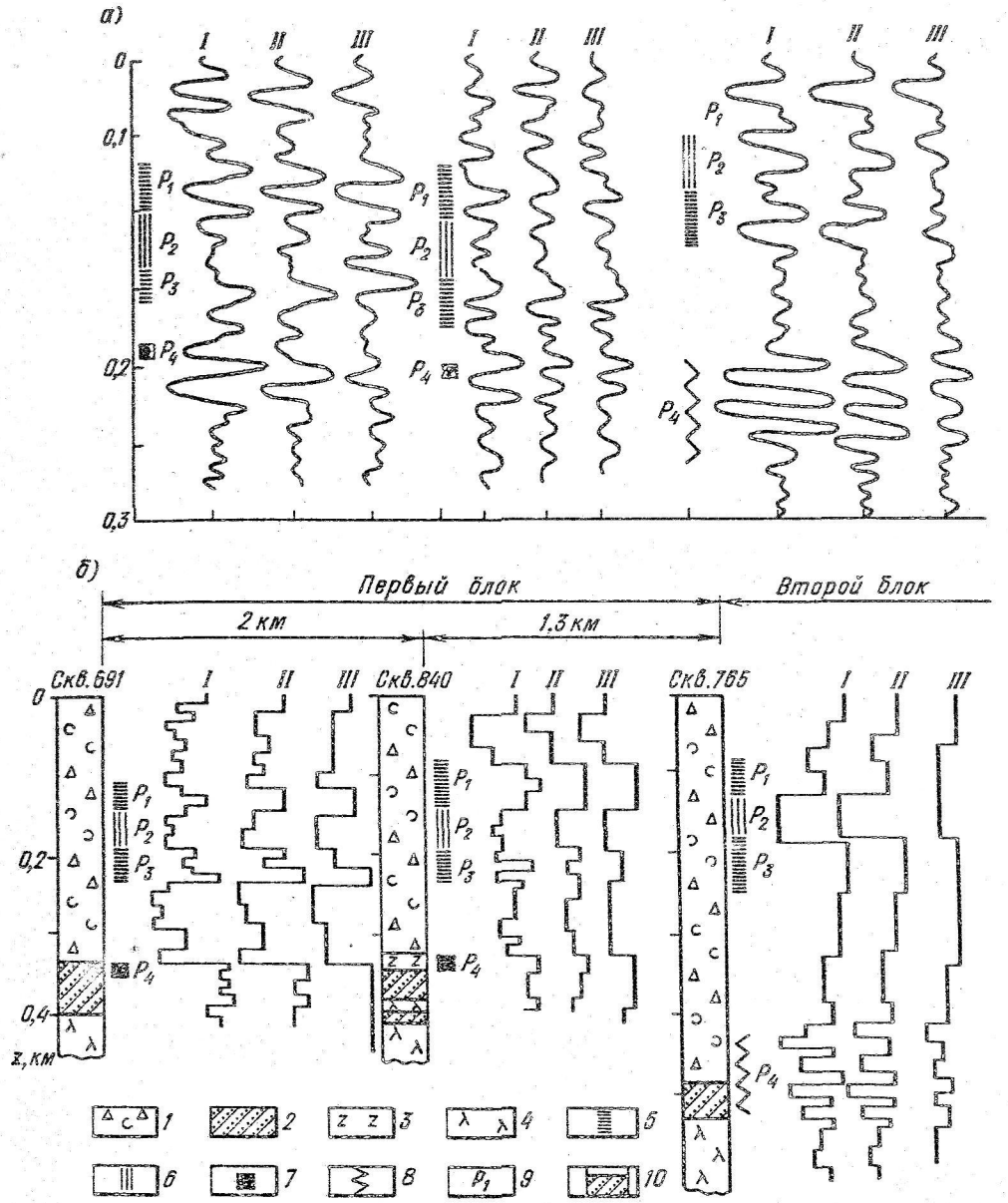


Рис.1. Устойчивость скоростных разрезов 691 и 840, расположенных в пределах одного блока и нарушение корреляционной связи при переходе в другой (скважина 765): а – синтетические сейсмограммы, рассчитанные для трех вариантов осреднения (I, II и III) графиков акустической жесткости; б – геологические разрезы скважин и графики акустической жесткости для трех вариантов осреднения

1 – туфогенные породы; 2 – туфопесчаники; 3 – андезиты; 4 – порфириты; 5 и 6 – тонкий слой с повышенными и пониженными значениями акустической жесткости соответственно; 7 – граница толстого слоя; 8 – пачки тонких слоев; 9 – индекс сейсмической границы и связанных с ними отраженных волн; 10 – контакт литологических слоев

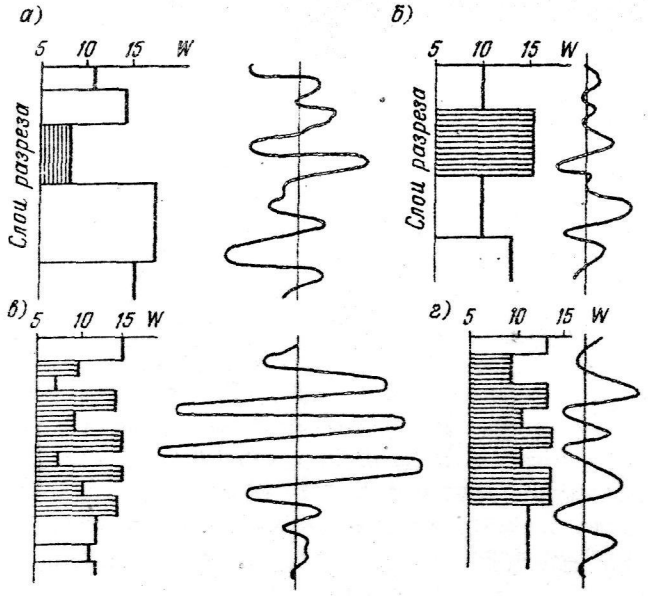


Рис.2. Синтетические сейсмограммы для тонких слоев с пониженными (а) и повышенными (б) значениями акустической жесткости и пачки с квазипериодическим (в) и непереодическим (г) распределением тонких слоев в толще вулканогенных пород Кафанского района

характеризуется резкими границами раздела с внешней средой. В большинстве случаев зоны тектонических нарушений аппроксимируются переходным слоем со сглаженными контактами.

Существенную роль в формировании волновых полей играют тонкие слои и их сочетания. Вследствие их небольшой мощности (10–20 м) происходит синфазное сложение сигналов от кровли и подошвы слоя и, таким образом, образуется простая трехфазная запись квазисинусоидальной формы. Возможность выделения на сейсмограммах отраженных волн от тонкого слоя определяется не только величинами перепада акустической жесткости на его границах, но и степенью однородности вмещающих пород.

Четкая двух-трехфазная запись отраженной волны от тонкого слоя получена при залегании его в относительно однородном разрезе [1]. При наличии сильно дифференцированной среды отраженные волны от тонкого слоя осложнены интерференцией с другими волнами, приводящей к заметному изменению – сглаживанию сигнала, чаще всего имеющего вид одиночного экстремума.

Регулярная интенсивная запись отраженных волн формируется на ритмичных пачках, состоящих из тонких слоев мощностью около 10 м с резким перепадом акустической жесткости на их границах (рис.2). Благодаря малой мощности слоев, равной 1/8–1/10 длины волны, происходит почти синфазное (с небольшим сдвигом во времени) суммирование волн, отраженных от границ тонких слоев. В результате наложения синфазных импульсов разрастается амплитуда суммарного волнового пакета и отраженная волна приобретает динамически выразительную запись.

Несколько отличная картина наблюдается на непериодических пачках тонких слоев, отраженные волны от которых имеют менее выразительную форму записи за счет несинфазного суммирования интерференционного волнового пакета с уменьшенной интенсивностью по сравнению с периодической пачкой [1, 3, 9]. Осреднение пачки тонких слоев в один толстый приводит к нивелированию записи отраженных волн иногда до общего интерференционного уровня записи.

Для изучения тонкослоистых сред очень важно выяснить закономерности изменения скоростной структуры сейсмических границ в магматических породах. Следует отметить, что сведения об этом весьма малочисленны и неоднозначны, поскольку базируются, главным образом, на результатах интерпретации волновых полей, наблюдаемых в сложных средах. В этом отношении представляет большой интерес сопоставление графиков $W(\tilde{z})$, расположенных в различных геологических условиях Кафанского рудного поля. Рассматривалось несколько вариантов осреднения графиков $W(z)$ для каждой скважины с целью выделения главных составляющих скоростных разрезов - реперов. Участки между реперами аппроксимировались средой с постоянной скоростью или градиентом; либо средой, состоящей из совокупности слоев со слабой дифференциацией упругих параметров.

Основной вывод, который может быть сделан из сопоставления скоростных разрезов всех скважин, заключается в установлении выдержанности последних в пределах одного блока с относительно однородным геолого-геофизическим строением. Это наглядно можно проиллюстрировать на примере скоростных разрезов трех скважин, две из которых находятся в одном блоке, а третья - в другом (см. рис.I). Все три скважины имеют близкое геологическое строение: в области контактов порфиритов и туфов залегает маркирующий горизонт песчаников.

Для каждой скважины по трем вариантам осреднения графиков $W(\tilde{z})$ с последовательным сглаживанием скоростного разреза получены три расчетных модели среды со средними значениями мощности скоростных слоев I5, 25 и 40 м.

Находящиеся на расстоянии 2 км друг от друга скважины 69I и 840 имеют почти идентичные скоростные разрезы. Так, почти во всех вариантах осреднения графиков $W(\tilde{z})$ хорошо коррелируются между скважинами три промежуточных слоя (P_1, P_2 и P_3) и граница толстого слоя (P_4). Различия в скоростной структуре выделенных реперов разреза незначительны и ограничиваются лишь небольшими изменениями в деталях их строения.

В туфогенной толще хорошо выраженным оказался промежуточный слой с пониженными значениями акустической жесткости (P_2). Вмещающие его слои с повышенными значениями $W(\tilde{z})$ могут быть выделены лишь на некоторых вариантах осреднения и характеризуются меньшими перепадами акустической жесткости. Расхождение в скоростных разрезах скважин, расположенных в различных блоках, выражается в совершенно другой скоростной структуре четвертого слоя (P_4), который для скважин 69I и 840 представлен границей полупространства, а для скважины 765 - ритмичной пачкой тонких слоев, четко проявленной во всех трех вариантах осреднения графиков $W(\tilde{z})$. Вследствие этого меняется волновое поле в целом и отдельные его составляющие с наиболее выразительным пакетом волн от ритмичной пачки тонких слоев.

Аналогичное соответствие структуры отражающих пачек тонких слоев блоковому характеру строения магматических пород выявлено для большинства скоростных разрезов скважин Кафанского рудного поля. Общим для них является относительное подобие скоростных разрезов в пределах единого блока и резкое их изменение при переходе в другой блок. Наиболее наглядно

эта закономерность проявляется для волновых пакетов, связанных с пачками, представленными большим количеством тонких слоев.

Выводы

Анализ синтетических сейсмограмм для скоростных разрезов магматических пород Кафанского района свидетельствует о преобладании отраженных волн, связанных с пачками тонких слоев.

Отраженные волны от других типов сейсмических границ (толстые или промежуточные слои) оказываются динамически менее выразительными и характеризуются быстро изменяющимися свойствами.

Для всех типов сейсмических границ характерна выдержанность их в пределах одного блока и резкое изменение скоростной структуры и соответственно формы волновых пакетов при переходе из одного блока в другой.

Эти данные в сочетании с экспериментальным материалом МОВ и ВСП могут быть широко использованы при установлении степени и характера устойчивости скоростных разрезов в пространстве и выявлении связи основных волновых пакетов с различными типами сейсмических границ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берзон И.С. Сейсморазведка тонкослоистых сред. М., Наука, 1976.

2. Гогоненков Г.Н. Расчет и применение синтетических сейсмограмм. М., Недра, 1972.

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

4. Мирошникова О.В. Сейсмические исследования глубинного строения Кафанского поднятия Армении. – Зап. ЛГИ, 1976, т. 69, вып. 2.

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

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

7. Ратникова Л.Н., Яновская Т.Б. Приближенный расчет волновых полей в средах с тонкими слоями. – Вычислительная сейсмология. 1968, № 4.

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

9. Физические основы сейсмического метода отраженных волн в платформенных условиях / Под ред. А.М.Епинатьевой. М., Наука, 1974.